الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم هندسة الحواسيب والأتمتة

تطوير منظم ذاتي التوليف عائم للنظم اللاخطية المتغيرة في الزمن

رسالة مقدمة لنيل درجة الماجستير في هندسة التحكم والأتمتة

إعداد

م. مروه الصفدي

إشراف

د. م. هيام خدّام

العام

2023

الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم هندسة الحواسيب والأتمتة

تطوير منظم ذاتي التوليف عائم للنظم اللاخطية المتغيرة في الزمن

رسالة مقدمة لنيل درجة الماجستير في هندسة الحواسيب والأتمتة

اختصاص هندسة التحكم والأتمتة

إعداد الطالبة: مروه حسان الصفدي

لجنة الحكم:

د. يزن أصلان	المدرِّس في قسم هندسة الحواسيب والأتمتة – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق	عضواً
د. هيام خدّام	المدرِّسة في قسم هندسة الحواسيب والأتمتة – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق	عضواً مشرفاً
د. سامي العيسى	المدرِّس في قسم هندسة الحواسيب والأتمتة – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق	عضواً

تصريح خطي

أنا الموقع أدناه أصرح بعلمي الكامل وقبولي:

1. أن كل ما ينتج عن البحث والأطروحة هو ملكية فكرية ومالية بالتشارك مع جامعة دمشق، وأنني ألتزم بأخذ موافقة الجامعة في حال رغبتي بنشر البحث أو الأطروحة أو جزء منها نصا أو مضمونا خارج إطار الجامعة (من دور نشر أو مكتبات أو مواقع الكترونية وغيرها من وسائل النشر).

2. أنه لا يوجد أي جزء من هذه الأطروحة تم اقتباسه من عمل علمي آخر أو أنجز للحصول على شهادة أخرى في جامعة دمشق أو أية جامعة أو معهد تعليمي داخل أو خارج الجمهورية العربية السورية.

الاسم والتوقيع

شكر وتقدير

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات حمداً كثيراً طيباً مباركاً فيه

أشكر **جامعة دمشق** التي كان لي الشرف أن أنتمي اليها وأحمل شعارها

وأخص بالامتنان ذوي الفضل **أعضاء الهيئة التدريسية في قسم هندسة الحواسيب والأتمتة** - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- هؤلاء من كان لهم الفضل الكبير في تحصيلنا العلمي....

إلى شمس المعرفة التي أنارت ظلامي وكانت الأمل الذي منحني القوة والدافع للاستمرار والسعي نحو هدفي..

شكراً لكونك مثالاً يُحتذى من الناحية العلمية والإنسانية..

وشكراً لإيمانك بقدراتي عندما راودني الشك بها..

مشرفتي وعرّابي الدكتورة المهندسة هيام خدّام

الشكر الكبير **للدكتور المهندس رؤوف حمدان** رئيس قسم هندسة الحواسيب والأتمتة الذي كان داعماً لي بكل ما احتاجه، لك مني كل الاحترام

وأقدم عظيم الشكر لكم أساتذتي الأفاضل.. لجنة التحكيم

إلى المُرشِد الأول الذي كانت نصائحه نوراً لدربي.. **الدكتور المهندس يزن أصلان**

إلى من أجاب على تساؤلاتي الكثيرة وأرشدني برحابة صدر ودون ملل.. **الدكتور المهندس سامي العيسى**

لكم خالص محبتي وامتناني...

آملة أن يوظف هذا العمل لخدمة الوطن وأبناءه وأن يكون حجر الأساس للزملاء القادمين لتطويره بشكل أكبر

(وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا) صدق الله العظيم

الإهداء

حين أكبر حين أنجح حين أكون الأفضل لا أحد سواها يدمع فرحاً

إلى من أفنت حياتها لأحيا إلى قدوتي في الحب والعطاء والتفاني والتضحية

إلى مُلهِمَتي وسر نجاحي..

سيدتي الفاضلة أمي

إلى من شاركني الآلام والأحلام وواجهنا مصاعب الحياة معاً..

إخوتي

إلى فرحة قلبي.. إلى من كانت ضحكاتهم البريئة سر نجاحي .....

سيدرا ومصطفى وتالا وعبد الله

فهرس المحتويات

فهرس الأشكال..... 9

فهرس الجداول 12

قائمة المصطلحات والاختصارات..... 13

الفصل الأول(المقدمة والإطار العام للبحث) 16

1-1-مقدمة: 17
1-2-لمحة عن الدراسات السابقة:..... 17
1-3-مشكلة البحث: 18
1-4-هدف البحث: 18
1-5-أهمية البحث: 18
1-6-مسوغات البحث: 18
1-7-محددات البحث:..... 19
1-8-حدود البحث: 19
1-9-منهج البحث وأدواته:..... 19
1-10- الإسهامات العلمية للبحث: 19
1-11-لمحة عن فصول الرسالة: 20

الفصل الثاني(الدراسات المرجعية)..... 21

2-1- مقدمة: 22
2-2- الدراسات المرجعية:..... 22
2-3-خلاصة الدراسات السابقة: 27

الفصل الثالث(الأسس النظرية للبحث(التحكم التكيفي- المنطق العائم)) 28

3-1-مقدمة: 29
3-2-التحكم التكيفي: 29
3-2-1- خوارزمية التحكم التكيفي ذي النموذج المرجعي: 30
3-2-2- خوارزمية جدولة الربح: 31
3-2-3- المنظم ذاتي التوليف: 31
3-3-المنطق العائم: 44
3-3-1- المفاهيم الأساسية في المنطق العائم: 45
3-3-2-العمليات على المجموعات العائمة Operations on fuzzy sets:..... 50
3-3-3-القواعد العائمة Fuzzy rules : 53
3-3-4- بنية نظام الاستدلال العائم Fuzzy inference system structure : 53

الفصل الرابع(تصميم المنظم ذاتي التوليف بخوارزميات مختلفة)..... 64

4-1- مقدمة: 65
4-2- تنجيز الدراسة المرجعية[1] :..... 65
4-3-النظام المدروس (نظام المفاعل الكيميائي ذي التقليب المستمرCSTR): 66
4-4- تصميم المنظم ذاتي التوليف لنظام المفاعل الكيميائي ذي التقليب المستمر بخوارزميات مختلفة:..... 67
4-4-1-خوارزمية المنظم ذاتي التوليف الصريحة (غير المباشرة): 67

4-4-2-خوارزمية المنظم ذاتي التوليف الضمنية (المباشرة): 75

الفصل الخامس(المنظم ذاتي التوليف العائم المقترح)..... 79

5-1-مقدمة: 80
5-2- خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم المقترحة:..... 80
5-2-1- استنتاج مجالات متغيرات الدخل والخرج للمتحكم العائم: 82
5-2-2-استنتاج قواعد المتحكم العائم: 87
5-2-3- اختبار خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم بحالة تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية: 89
5-2-4-تعديل توابع انتماء دخل ومخارج المتحكم العائم: 91
5-3- مناقشة النتائج:..... 97

الفصل السادس(الاستنتاجات والآفاق المستقبلية)..... 98

6-1- الاستنتاجات: 99
6-2-الآفاق المستقبلية: 100

المراجع:.....101

فهرس الأشكال

الشكل (2-1) المخطط الصندوقي للمنظم المتتالي ذاتي التوليف [1]..... 23
الشكل (3-1) المخطط العام للتحكم التكيفي [16] 30
الشكل (3-2) المخطط الصندوقي للتحكم التكيفي ذي النموذج المرجعي[16] 30
الشكل (3-3) المخطط الصندوقي لجدولة الربح [16]..... 31
الشكل (3-4) المخطط الصندوقي للجملة المدروسة 32
الشكل (3-5) المخطط الصندوقي للجملة المدروسة مع ضجيج 33
الشكل (3-6) المخطط الصندوقي للجملة مع متحكم PID 35
الشكل (3-7) المخطط الصندوقي للجملة مع متحكم أمامي خلفي STR..... 36
الشكل (3-8) المخطط الصندوقي للمنظم ذاتي التوليف الصريح (غير المباشر)[16] 37
الشكل (3-9) المخطط الصندوقي للمنظم ذاتي التوليف الضمني (المباشر)[16] 41
الشكل (3-10) تمثيل درجة الانتماء..... 47
الشكل (3-11) تابع الانتماء المثلثي 48
الشكل(3-12) تابع الانتماء ذو الشكل شبه المنحرف..... 48
الشكل (3-14) تابع الانتماء الغاوصي 49
الشكل (3-15) تابع انتماء السيغمويد[18]..... 50
الشكل (3-16) مجموعتان عائمتان 51
الشكل(3-17) التقاطع العائم [18] 51
الشكل (3-18) الاجتماع العائم..... 52
الشكل(3-19) المتمم العائم..... 52
الشكل (3-20) مكونات نظام الاستدلال العائم 54
الشكل (3-21) مجموعة من القواعد المجمعة للحصول على الخرج النهائي 56
الشكل (3-22) طريقة مركز الثقل لفك التعويم 57
الشكل (3-23) طريقة المركز الوسطي 58
الشكل (3-24) طريقة القيمة العظمى[19] 59
الشكل (3-25) نموذج ممداني للاستدلال العائم 61
الشكل (3-26) نموذج تاكاجي سوجينو للاستدلال العائم[20]..... 63
الشكل(4-1) استجابة نظام من الدرجة الثالثة باستخدام الخوارزمية الصريحة والمخمن LSE 66
الشكل (4-2) نظام المفاعل الكيميائي ذو التقليب المستمر [20]..... 66

الشكل (4-3) استجابة النموذج الرياضي (تابع تحويل من الدرجة الثانية) لنظام المفاعل الكيميائي باستخدام الخوارزمية الصريحة والمخمن LSE 69

الشكل (4-4) استجابة نظام المفاعل الكيميائي الممثل بتابع تحويل من الدرجة الثانية باستخدام الخوارزمية الصريحة والمخمن LSE 69

الشكل (4-5) استجابة نظام المفاعل الكيميائي الممثل بتابع تحويل من الدرجة الثانية باستخدام الخوارزمية الصريحة والمخمن RLSE 71

الشكل (4-6) استجابة النموذج الرياضي (تابع تحويل من الدرجة الثالثة) لنظام المفاعل الكيميائي باستخدام الخوارزمية الصريحة والمخمن LSE 72

الشكل (4-8) استجابة نظام المفاعل الكيميائي الممثل بتابع تحويل من الدرجة الثالثة باستخدام الخوارزمية الصريحة والمخمن RLSE 74

الشكل (4-9) استجابة نظام المفاعل الكيميائي باستخدام الخوارزمية الضمنية والمخمن RLSE وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية 76

الشكل (4-10) استجابة نظام المفاعل الكيميائي باستخدام الخوارزمية الضمنية والمخمن RLSE وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثالثة 77

الشكل (4-11) استجابة نظام المفاعل الكيميائي باستخدام الخوارزمية الضمنية والمخمن RLSE وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية بوجود ضجيج قيمته 10 78

الشكل (4-12) استجابة نظام المفاعل الكيميائي باستخدام الخوارزمية الضمنية والمخمن RLSE وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية بوجود ضجيج قيمته 100 78

الشكل (5-1) المخطط الصندوقي للمنظم ذاتي التوليف العائم 80

الشكل (5-2) المخطط الصندوقي للمتحكم العائم 81

الشكل (5-3) دخل ومخارج المتحكم العائم المقترح 81

الشكل (5-4) مجال قيم درجة حرارة المفاعل الكيميائي (دخل المتحكم العائم) 82

الشكل (5-5) بارامترات توابع انتماء الدخل Y 82

الشكل (5-6) مجال قيم بارامترات كثير الحدود S 83

الشكل (5-7) بارامترات توابع انتماء الخرج S0 84

الشكل (5-8) بارامترات توابع انتماء الخرج S1 84

الشكل (5-9) مجال قيم بارامترات كثير الحدود R 85

الشكل (5-10) بارامترات توابع انتماء الخرج R0 86

الشكل (5-11) بارامترات توابع انتماء الخرج R1 86

الشكل (5-12) علاقة دخل المتحكم العائم Y(TR) بمخارج المتحكم الأربعة (S0,S1,R0,R1) حسب الخوارزمية الضمنية 87

الشكل (5-13) علاقة دخل المتحكم العائم Y(TR) بمخارج المتحكم الأربعة (S0,S1,R0,R1) حسب القواعد العائمة 88

الشكل (5-14) استجابة نظام المفاعل الكيميائي باستخدام خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية 89

الشكل (5-15) استجابة نظام المفاعل الكيميائي باستخدام خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية بوجود ضجيج ذو تباين قيمته 10 90

الشكل (5-16) استجابة نظام المفاعل الكيميائي باستخدام خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية بوجود ضجيج ذو تباين قيمته 100 90

الشكل (5-17) بارامترات توابع انتماء الدخل Y 91

الشكل (5-18) بارامترات توابع انتماء الخرج S0 92

الشكل (5-19) بارامترات توابع انتماء الخرج S1 92

الشكل (5-20) بارامترات توابع انتماء الخرج R0 93

الشكل (5-21) بارامترات توابع انتماء الخرج R1 93

الشكل (5-22) علاقة دخل المتحكم العائم Y(TR) بمخارج المتحكم الأربعة (S0,S1,R0,R1) حسب القواعد العائمة وتوابع انتماء من نوع SIGMOIDAL 94

الشكل (5-23) استجابة نظام المفاعل الكيميائي باستخدام خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم بحالة توابع انتماء من نوع SIGMOIDAL وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية 95

الشكل (5-24) استجابة نظام المفاعل الكيميائي باستخدام خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم بحالة توابع انتماء من نوع SIGMOIDAL وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية بوجود ضجيج ذو تباين قيمته 10 96

الشكل (5-25) استجابة نظام المفاعل الكيميائي باستخدام خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم بحالة توابع انتماء من نوع SIGMOIDAL وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية بوجود ضجيج ذو تباين قيمته 100 96

فهرس الجداول

الجدول(4-1) بارامترات المتحكم STR لاختبار الخوارزمية الصريحة للدراسة المرجعية [1] 65

الجدول (4-2) بارامترات نظام المفاعل الكيميائي من الدرجة الثانية باستخدام المخمن LSE 68

الجدول (4-3) بارامترات المتحكم STR لاختبار الخوارزمية الصريحة من أجل نظام المفاعل الكيميائي من الدرجة الثانية باستخدام المخمن LSE 68

الجدول (4-4) عينة من بارامترات نظام المفاعل الكيميائي من الدرجة الثانية باستخدام المخمن RLSE 70

الجدول (4-5) عينة من بارامترات المتحكم STR لاختبار الخوارزمية الصريحة من أجل نظام المفاعل الكيميائي من الدرجة الثانية باستخدام المخمن RLSE 70

الجدول (4-6) بارامترات نظام المفاعل الكيميائي من الدرجة الثالثة باستخدام المخمن LSE 71

الجدول (4-7) بارامترات المتحكم STR لاختبار الخوارزمية الصريحة من أجل نظام المفاعل الكيميائي من الدرجة الثالثة باستخدام المخمن LSE 72

الجدول (4-8) عينة من بارامترات نظام المفاعل الكيميائي من الدرجة الثالثة باستخدام المخمن RLSE 74

الجدول (4-9) عينة من بارامترات المتحكم STR لاختبار الخوارزمية الصريحة من أجل نظام المفاعل الكيميائي من الدرجة الثالثة باستخدام المخمن RLSE 74

الجدول (4-10) عينة من بارامترات المتحكم STR لاختبار الخوارزمية الضمنية من أجل نظام تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية باستخدام المخمن RLSE 75

الجدول (4-11) عينة من بارامترات المتحكم STR لاختبار الخوارزمية الضمنية من أجل نظام تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثالثة باستخدام المخمن RLSE 77

الجدول (5-1) مقارنة نتائج الخوارزمية المقترحة مع الخوارزمية الصريحة والضمنية 97

قائمة المصطلحات والاختصارات

الاختصار	المصطلح باللغة الإنكليزية	المصطلح باللغة العربية
AC	Adaptive Control	التحكم التكيفي
CSTR	Continuous Stirred Tank Reactor	نظام المفاعل الكيميائي ذي التقليب المستمر
-	Defuzzification	فك التعويم
-	Explicit Algorithm	الخوارزمية الصريحة
-	Fuzzification	تعويم
FIS	Fuzzy Inference System	نظام الاستدلال العائم
FL	Fuzzy Logic	المنطق العائم
-	Implicit Algorithm	الخوارزمية الضمنية
-	Inference Engine	محرك الاستدلال
LSE	Least Square Estimation	مخمن التربيع الأصغري
-	Linguistic Variables	متغيرات لغوية
-	Minimum Phase	طور أصغري
MRAC	Model Reference Adaptive Control	التحكم التكيفي ذي النموذج المرجعي
-	Non Minimum Phase	طور غير أصغري
PP	Pole Placement	توضع الأقطاب
RLSE	Recursive Least Square Estimation	مخمن التربيع الأصغري العودي

STR	Self-Tuning Regulator	المنظم ذاتي التوليف
-	Uncertainty	عدم اليقين

الملخص

يعيق السلوك اللاخطي للنظام عملية التحكم والقدرة على التنبؤ بالسلوك الديناميكي للنظام، ولتحقيق أداء أفضل يتم إدخال مفاهيم التحكم التكيفي لضبط بارامترات المتحكم، ولتبسيط العمليات الحسابية المرتبطة بضبط البارامترات يتم استخدام المنطق العائم.

يهدُف البحث إلى تحسين أداء النظم اللاخطية المعقدة بتطوير خوارزمية المنظم ذاتي التوليف باستخدام المنطق العائم.

يتناول البحث التحكم بدرجة حرارة نظام المفاعل الكيميائي ذي التقليب المستمر باستخدام خوارزمية المنظم ذاتي التوليف بشكليها الصريح والضمني. تم ضبط بارامترات النظام بطريقتي مخمن التربيع الأصغري ومخمن التربيع الأصغري العودي، وتم ضبط بارامترات المتحكم بطريقة توضع الأقطاب، ومن ثم تم تطوير خوارزمية المنظم ذاتي التوليف الضمنية باستخدام المنطق العائم.

أثبت البحث أن خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم المقترحة حققت الاستجابة المرغوبة لنظام CSTR اللاخطي بدقة ودون تعقيدات حسابية حيث تم تحسين زمن الوصول مقارنة مع الخوارزمية الصريحة والضمنية بنسبة 21% وزمن الاستقرار بنسبة 11%.

الكلمات المفتاحية: التحكم التكيفي، المنظم ذاتي التوليف، مخمن التربيع الأصغري، مخمن التربيع الأصغري العودي، طريقة توضع الأقطاب، المنطق العائم، نظام المفاعل الكيميائي ذي التقليب المستمر.

الفصل الأول

المقدمة والإطار العام للبحث

1-1-مقدمة:

لقد أصبح تطوير صناعات الإنتاج الكيميائي بمنزلة التكنولوجيا الصديقة للبيئة لبلد ما لتعزيز دخله القومي من خلال المنتجات المصنعة المرغوبة.

المفاعل الكيميائي هو الذي يلعب دورًا مهمًا في تفاعل المركبات الكيميائية ذات التركيبات المختلفة لزيادة عملية الإنتاج. يسمح بخلط المواد المتفاعلة بشكل فعال لتوليد منتج مرغوب فيه جيد التصنيع بمعدل إنتاج محدد. كما يسمح بالتفاعل الطارد للحرارة الذي يطلق طاقة حرارية بحيث تزداد درجة حرارة المفاعل بسرعة كبيرة. نظرًا لإنتاج زيادة كبيرة في درجة الحرارة، فإن الحرارة المتولدة في المفاعل تؤثر بشكل كبير على التشغيل السليم وعمر المفاعل. قد يؤدي هذا إلى خسارة غير متوقعة للمنتج. نظرًا لأن درجة حرارة المفاعل الطارد للحرارة يسبب خصائص غير خطية. يجب التحكم في ارتفاع درجة الحرارة جيدًا عن طريق تطبيق آلية تحكم مناسبة لتقديم خرج أكثر استقرارًا.[1]

تتمتع خوارزمية المنظم ذاتي التوليف وهي إحدى خوارزميات التحكم التكيفي بالقدرة على توفير استجابة للنظم ذات الخصائص الديناميكية غير الخطية.

في بحثنا هذا تم استخدام هذه الخوارزمية للتحكم في درجة حرارة المفاعل بشكل صحيح بحيث يتم حساب بارامترات النظام باستخدام مخمن التربيع الأصغري العودي RLSE ومن ثم تصميم بارامترات المتحكم بطريقة توضع الأقطاب.

كما تم إدخال مفاهيم المنطق العائم لخوارزمية المنظم ذاتي التوليف بحيث يتم تصميم بارامترات المتحكم بقيم لغوية عائمة بدلاً من قيم ثابتة.

الميزة الرئيسية للطريقة المقترحة هي أنها سهلة التنفيذ وفعالة من الناحية الحسابية كما أنها قادرة على التحكم بشكل أفضل في درجة حرارة المفاعل غير الخطي.

1-2-لمحة عن الدراسات السابقة:

نستعرض أهم الدراسات التي تناولت خوارزمية المنظم ذاتي التوليف وتطبيقها على النظم اللاخطية:

طوّر Shoga وزملاؤه نموذج المنظم المتتالي ذاتي التوليف للتحكم بدرجة حرارة المفاعل بالرجوع إلى نموذج توازن المواد والطاقة لمفاعل الخزان الطارد للحرارة. حيث يسمح مفاعل الخزان الطارد للحرارة بالتفاعل لإطلاق الحرارة بسبب خلط المواد. إن إطلاق الحرارة بسبب العملية الطاردة للحرارة في المفاعل يجعل النظام غير خطي وغير مؤكد ما لم يتم تنظيمه بشكل صحيح[1] .

كما اقترح Reshmi وزملاؤه مخطط تحكم تكيفي يعتمد على المنظم ذاتي التوليف (STR)، لمكافحة حالات عدم اليقين والصعوبات في سلوك التحكم للأنظمة غير الخطية[2] .

واقترح Ayten وزملاؤه خوارزمية للتحكم في نظام المفاعل الكيميائي باستخدام المنظم ذاتي التوليف والذي يستخدم غالبًا في الصناعة. تم استخدام نموذج الانحدار الأسي مع نموذج خارجي كنموذج العملية السائلة مع تنفيذ التحكم في المنظم ذاتي التوليف من أجل تتبع مسارات مستوى الخزان المرغوبة [3].

1-3-مشكلة البحث:

تُظهر غالبية النظم الفيزيائية خواص لا خطية عالية وعدم دقة وعدم يقين لذلك لا يمكن تمثيلها بنموذج رياضي ثابت. ويصعب التحكم بها بسبب تغيرات بارامتراتها وبسبب تغيرات البيئة المحيطة، لذلك نلجأ إلى التحكم المتكيف لتصميم متحكم تتغير بارامتراته مع هذه التغيرات.

1-4-هدف البحث:

تحسين أداء النظم اللاخطية المعقدة بتطوير خوارزمية المنظم ذاتي التوليف الضمنية باستخدام المنطق العائم، حيث تسمح الخوارزمية المقترحة بالحصول على الاستجابة المرغوبة بدقة ودون الحاجة إلى تقريب النظام إلى نماذج خطية ودون كلفة حسابية.

1-5-أهمية البحث:

معظم النظم الفيزيائية الحقيقية هي نظم لا خطية ومتغيرة في الزمن ولكي يكون أداؤها دقيق لابد من تصميم متحكم بمواصفات دقيقة وإمكانيات ضبط عالية، وكمثال عملي على النظم اللاخطية المتغيرة في الزمن نظام المفاعل الكيميائي ذو التقليب المستمر حيث يجب تنظيم سلوك درجة حرارة هذا النظام وفق شروط المستخدم (المستثمر) بالإضافة إلى ضمان استقرار النظام ولتحقيق ذلك لابدّ من تصميم متحكم دقيق يحقق الاستجابة المرغوبة ودون كلفة حسابية.

1-6-مسوغات البحث:

العمل على إيجاد طريقة لتصميم بارامترات المتحكم بشكل دقيق ودون الحاجة للحسابات الرياضية المعقدة للحصول على أداء أفضل للنظم اللاخطية المتغيرة في الزمن.

1-7-محددات البحث:

يتناول البحث تطبيق خوارزمية المنظم ذاتي التوليف بشكليها الصريح والضمني على نظام المفاعل الكيميائي ذي التقليب المستمر، حيث تم التحكم بدرجة حرارة المفاعل من خلال تعديل درجة حرارة المبرد ودون الأخذ بعين الاعتبار درجة تركيز المواد المتفاعلة. كما تم تمثيل النظام بنموذجين رياضيين من الدرجة الثالثة والثانية وبفرض أن النظام ذو طور أصغري.

1-8-حدود البحث:

- الحد الزماني: استغرق تنفيذ البحث مدة ثلاثة أعوام اعتباراً من تاريخ قرار التسجيل
- الحد المكاني: جرى تنفيذ هذا البحث في قسم هندسة الحواسيب والأتمتة في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق.
- الحد التقاني: جرى تنفيذ الخوارزمية المقترحة باستخدام برمجية MATLAB R2016a.
- الحد العلمي: جرى اتباع المنهجية التحليلية في تطوير الخوارزمية المقترحة ثم جرى اتباع المنهجية التجريبية في تنفيذ الخوارزمية واختبارها.

1-9-منهج البحث وأدواته:

تم الاعتماد على المنهج التحليلي لتحليل طريقة توضع الأقطاب لتصميم بارامترات المتحكم في خوارزمية المنظم ذاتي التوليف الضمنية من خلال أدوات النمذجة SIMULINK الموجودة في برنامج MATLAB وإعادة صياغتها بطريقة عائمة أبسط حسابياً وتحقق الاستجابة المرغوبة بدقة كما تم استخدام المنهج التجريبي لتجريب الطريقة المقترحة من خلال أداة المنطق العائم FUZZY الموجودة في برنامج MATLAB.

1-10- الإسهامات العلمية للبحث:

1- مقارنة خوارزميتي المنظم ذاتي التوليف الصريحة والضمنية بحالات مختلفة والتأكد من أن أداء الخوارزمية الضمنية يوافق أداء الخوارزمية الصريحة دون الحاجة إلى تمثيل النظام بنموذج رياضي.

2- تطوير خوارزمية المنظم ذاتي التوليف الضمنية باستخدام المنطق العائم مما أدى إلى الوصول إلى الاستجابة المرغوبة بدقة

1-11-لمحة عن فصول الرسالة:

تتألف الرسالة من خمسة فصول تتناول الأسس النظرية للمسألة المدروسة وتبيّن الأعمال السابقة، ومن ثم توضح الخوارزمية المقترحة وتناقش نتائجها.

يحتوي الفصل الأول على مقدمة عامة تمهد لموضوع البحث وتبيّن أهميته وحدوده والمنهجية المتبعة، ومن ثم موجز عن الدراسات السابقة، وعرضاً موجزاً لمحتويات الرسالة.

أما الفصل الثاني فيتناول الدراسات المرجعية التي تناولت خوارزميات التحكم التكيفي، حيث إنها جذبت العديد من الباحثين لتطبيقها ضمن أنظمة فيزيائية مختلفة ولاسيما الأنظمة اللاخطية.

يتمحور الفصل الثالث حول الأسس النظرية للتحكم التكيفي والتحكم العائم ويوضح المفاهيم الأساسية والعلاقات الرياضية المتعلقة بها.

في الفصل الرابع تم القيام ببعض التجارب على نظام المفاعل الكيميائي (CSTR) باستخدام الخوارزمية الصريحة والضمنية، ومن ثم استعراض الخوارزمية المقترحة وتطبيقها على نظام المفاعل الكيميائي، وتوضيح نتائج كل من تلك التجارب ومناقشتها بشكل معمق.

أما الفصل الخامس فيحتوي على الاستنتاجات التي تلخص نتائج البحث والآفاق المستقبلية له، حيث تم اقتراح العديد من الأفكار التي يمكن من خلالها متابعة البحث.

الفصل الثاني

الدراسات المرجعية

2-1- مقدمة:

من خلال البحث والاستقصاء ضمن الأبحاث التي تناولت موضوع التحكم بالنظم اللاخطية والحفاظ على استقرارها، نجد أنه تم تطوير خوارزميات متعددة للتحكم التكيفي بالنظم اللاخطية، وتم التركيز في هذا البحث على الدراسات التي تناولت خوارزمية المنظم ذاتي التوليف التي تعد من أهم خوارزميات التحكم التكيفي، حيث إنها جذبت العديد من الباحثين لتطبيقها ضمن أنظمة فيزيائية مختلفة ولاسيما الأنظمة اللاخطية.

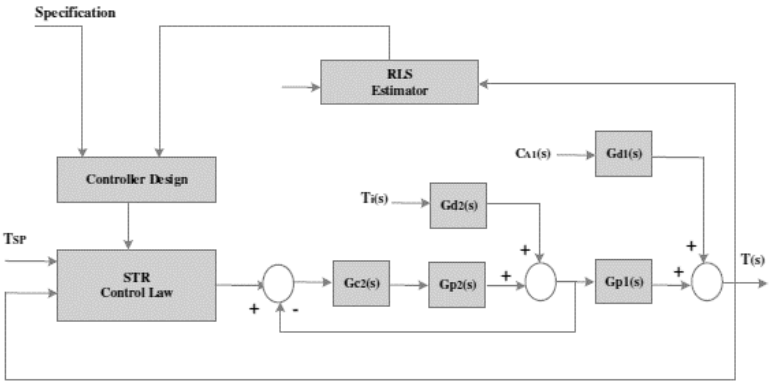
2-2- الدراسات المرجعية:

نستعرض أهم الدراسات التي تناولت خوارزميات التحكم التكيفي عموماً وخوارزمية المنظم ذاتي التوليف خصوصاً وتطبيقها على النظم اللاخطية:

طوّر **T. Shoga** وزملاؤه نموذج المنظم المتتالي ذاتي التوليف للتحكم بدرجة حرارة المفاعل بالرجوع إلى نموذج توازن المواد والطاقة لمفاعل الخزان الطارد للحرارة

حيث يسمح مفاعل الخزان الطارد للحرارة بالتفاعل لإطلاق الحرارة بسبب خلط المواد. إن إطلاق الحرارة بسبب العملية الطاردة للحرارة في المفاعل يجعل النظام غير خطي وغير مؤكد ما لم يتم تنظيمه بشكل صحيح.

تم استخدام متحكم PI في الحلقة الثانوية للتحكم بمعدل التدفق في حجرة التبريد. كما تم مقارنة درجة حرارة المفاعل مع القيمة المرغوبة في الحلقة الرئيسية. من أجل التحكم في درجة الحرارة بشكل لحظي يتم تخمين بارامترات وحدة التحكم بطريقة توضع الأقطاب وتم تمثيل نظام المفاعل بنموذج رياضي من الدرجة الثالثة كما تم تخمين بارامترات النظام بطريقة مخمن التربيع الأصغري العودي[1]. يبين الشكل (2-1) المخطط الصندوقي للمنظم المتتالي ذاتي التوليف:



الشكل (2-1) المخطط الصندوقي للمنظم المتتالي ذاتي التوليف [1]

اقترح Reshmi وزملاؤه مخطط تحكم تكيفي يعتمد على المنظم ذاتي التوليف (STR)، لمكافحة حالات عدم اليقين والصعوبات في سلوك التحكم للأنظمة غير الخطية.

ثمّ استخدام مخمن التربيع الأصغري العودي لتخمين بارامترات النظام كما تم استخدام طريقة توضع الأقطاب بحساب بارامترات المتحكم . يتم تطبيق خوارزمية التحكم المقترحة على النظام غير الخطي غير المستقر الممثل بنموذج رياضي من الدرجة الثالثة. تم تنفيذ العمل التجريبي باستخدام MATLAB / Simulink وتم تحليل النتائج التي تم الحصول عليها[2].

كما اقترح Ayten وزملاؤه خوارزمية للتحكم في نظام المفاعل الكيميائي باستخدام المنظم ذاتي التوليف الذي يستخدم غالبًا في الصناعة. تم استخدام نموذج الانحدار الأسي مع نموذج خارجي كنموذج العملية السائلة مع تنفيذ التحكم في المنظم ذاتي التوليف من أجل تتبع مسارات مستوى الخزان المرغوبة. كانت وحدة التحكم في المنظم ذاتي التوليف المصممة حساسة لتغيرات البارامترات لنظام المفاعل غير الخطي. يتم تحديث بارامترات وحدة التحكم المقترحة دورياً أثناء العملية باستخدام مخمن التربيع الأصغري العودي. بهذه الطريقة، يتم التخلص من اختلافات البارامترات والاضطرابات غير المرغوب فيها للنظام في تطبيق الوقت الحقيقي. من أجل إثبات كفاءة تقنية المنظم ذاتي التوليف للتحكم في النظام، تم تنفيذ دراسات الوقت الحقيقي. أظهرت النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها أن وحدة التحكم المقترحة تعطي أداء تتبع مسارًا أفضل وقيمة أصغر في التجاوز مقارنةً بوحدات التحكم التقليدية[3].

قام JONATHAN وزملاؤه بتطبيق خوارزمية التحكم التكيفي ذي النموذج المرجعي MRAC للمفاعل الكيميائي ذي التقليب المستمر بناء على قاعدة MIT.

تم تحليل أداء خوارزمية التحكم MRAC من حيث خطأ التربيع التكاملي ISE والخطأ المطلق التكاملي IAE والخطأ المطلق الزمني التكاملي ITAE[4].

قام كل من **chen** وزملاؤه بتصميم خوارزمية تحكم تكيفية متينة لنظام الطائرات غير الخطي لحل مشكلة عدم اليقين في إشارة التحكم.

حيث تُعرف خوارزمية التحكم التكيفي ذي النموذج المرجعي بأنها طريقة فعالة للتعامل مع عدم اليقين لكن عادة ما تكون هناك حاجة إلى سرعة في التكيف وهذا يؤدي إلى تذبذب عالي التردد في إشارة التحكم وقد يسبب عدم استقرار للنظام لذلك تم اقتراح تعديل لخوارزمية التحكم ذي النموذج المرجعي من خلال التحكم المتين للتخلص من الترددات العالية في إشارة التحكم.

تم تطبيق طريقة التحكم المقترحة على التحكم في الحركة بالاتجاه الطولي لنظام الطائرات غير الخطي. نتائج محاكاة الطيران أظهرت أن الطريقة التكيفية المتينة المقترحة كانت قادرة على تحقيق التكيف السريع بدون اهتزازات عالية التردد[5].

قام كل من Morteza وزملاؤه بتقديم خوارزمية قادرة على الحفاظ على عملية تخمين بارامترات النظام في المجال المطلوب وتم تطبيقها على نظام العاكس أحادي الطور مع مرشح LC.

يصف هذا البحث طريقة المنظم ذاتي التوليف التكيفي مع إجرائية متينة لتحديد النموذج الرياضي للنظام والذي يتم تطبيقه على عاكس أحادي الطور مع مرشح LC عن طريق تعديل عرض النبضة PWM.

حيث يُصمم مرشح LC لتقليل التوافقيات المزعجة التي تنتجها PWM وبالتالي يُعد استقرار المرشح على أنه مسألة مهمة.

من ناحية أخرى، يمكن أن يؤدي التغيير الديناميكي للعاكس إلى مشكلة عدم الاستقرار التي يمكن للخوارزمية المقترحة التغلب على هذه المشكلة والقيام بأداء جيد.

حيث تم اقتراح خوارزمية تحكم رقمية تكيفية وهي خوارزمية هجينة بين خوارزمية توضع الأقطاب مع خوارزمية تحديد الانحدار الأسي لمنع تأثيرات الضوضاء غير المرغوب فيها.

حيث تُعد هذه الخوارزمية قادرة على الحفاظ على عملية تخمين البارامترات في النطاق المطلوب[6].

قدّم zhang وزملاؤه دراسة جديدة حول مشكلة التحكم في تتبع التغذية الخلفية للحالة التكيفية للأنظمة غير الخطية غير المؤكدة المتقطعة في شكل عام غير قانوني. تؤدي عمليات التقدم الزمني إلى إخراج مثل هذه الأنظمة إلى أن تكون ديناميكية الخرج غير خطية معتمدة على إشارة التحكم والمعاملات غير المعروفة، مما يؤدي إلى ثلاث قضايا فنية: الدرجة النسبية الضمنية، ومعاملات غير خطية، وإشارة تحكم غير نهائية. لمعالجة هذه القضايا،

تستخدم هذه الورقة أولاً خطية التغذية الراجعة ونظرية الوظيفة الضمنية لبناء شكل عادي يعتمد على الدرجة النسبية، ثم يقترح طريقة قائمة على إعادة بناء البارامترات التكيفية للتعامل في نفس الوقت مع عدم اليقين الخطي وغير الخطي في ديناميكية الخرج، وأخيرًا يبني معادلة دالة ضمنية رئيسية لاشتقاق قانون تحكم تكيفي فريد يضمن استقرار الحلقة المغلقة وتتبع الخرج. يُقترح أيضًا قانون التحكم التكيفي القائم على الحل التكراري بشكل صريح لضمان استقرار الحلقة المغلقة وتتبع الخرج في أي درجة من الدقة[7].

قام zhou وزملاؤه بتطوير وتحليل خوارزمية تكيفية متينة للتحكم في الطيران من أجل تحسين الاستقرار ودقة التحكم في نظام المركبة الجوية الرباعية ضد التباين البطيء للكتلة والاضطرابات الخارجية.

حيث تم تصميم راصد يعتمد على نظرية التحكم التكيفي لتخمين الكتلة في الزمن الحقيقي وتصحيح معامل الكتلة للطائرة بدون طيار. كما تم تطوير وحدة التحكم التكيفية المتينة للتحكم بمسار الطائرة الرباعية بدقة كما يمكن تخمين قيمة كتلة الطائرة في حالة الاضطرابات الخارجية حيث إن الخطأ المقدر للكتلة هو 6.4 ٪ فقط [8].

طوّر Reinders وزملاؤه طريقة تحكم تحقق تتبعًا دقيقًا لتغيرات الضغط مع الوقت، لمعاملات تسرب خرطوم المريض غير المعروفة، وذلك في وحدات الجهاز التنفسي [9].

تم تحقيق ذلك من خلال تخمين خصائص الخرطوم التي تمكّن تعويض انخفاض ضغط الخرطوم. تم إثبات نظام استقرار الحلقة المغلقة وتحسين الأداء مقارنة باستراتيجيات التحكم الأخرى من خلال المحاكاة.

قام الدكتور Ranjan بمناقشة الجوانب المختلفة للتحكم التكيفي وتطبيقاته في الوقت الحالي حيث يعد مجالاً نشطاً للغاية.

يقوم نظام التحكم التكيفي تلقائيًا بتعويض الاختلافات في ديناميكية النظام عن طريق ضبط معاملات وحدة التحكم بحيث يظل أداء النظام الكلي كما هو. تتميز أنظمة التحكم التكيفية بتكلفة أولية أقل وتكلفة أقل للتكرار وموثوقية أعلى وأداء أعلى للنظام [10].

قام Treestayapun وزملاؤه باستخدام خصائص الذاكرة للمعادلات التفاضلية الجزئية في نموذج بيانات الإدخال والإخراج للأنظمة غير الخطية غير المؤكدة. ينشأ النموذج من خلال ربط تباين رتبة مشتقات المخرجات بتغير رتبة المشتقات للمدخلات، يتم حساب الربح من خلال شبكة استدلال عائم، حيث يتم تكييف نتائجها الناتجة وفقًا لقاعدة الانحدار الأسي. تخفف طبيعة المعادلات التفاضلية الجزئية للنموذج المقترح الشروط الصارمة على المخططات التي تعتمد على البيانات، مما يسمح بتغييرات فورية في إشارة الخرج مع اختلاف في وحدة التحكم.

تتمثل المساهمة الرئيسية في الاستفادة من خصائص الذاكرة ومرونة قواعد المنطق العائم لبناء نموذج قائم على البيانات للأنظمة غير الخطية المتقطعة غير المؤكدة[11].

قام E. Kernot وزملاؤه باقتراح آلية روبوتية جديدة لطريقة لقبض غير التعاوني وذلك لمكافحة مشكلة الحطام المداري الذي يشكل تهديدًا لمستقبل رحلات الفضاء.

يُفترض لهذا العمل ذراع روبوتية يحركها الأوتار. آلية الالتقاط هي نموذج أولي لقابض ثنائي الوصلة متماثل يتم تشغيله بواسطة آلية نقل ذات غمد مفتوح الطرف.

نظرًا لأن آلية نقل ذات الغمد عبارة عن نظام غير خطي متغير بمرور الوقت، فقد تمت مقارنة استراتيجيتين منفصلتين للتحكم التكيفي مع الأداء غير المتحكم فيه للقابض في الحلقة المغلقة. على وجه التحديد، تم استخدام طريقة تحكم غير مباشرة وطريقة تحكم مباشرة، توضح النتائج التجريبية أن وحدات التحكم التكيفية تظهر أداء تتبع أفضل على الحالات التي يتم التحكم فيها بينما تعمل وحدة التحكم المباشرة بشكل أفضل في ظل الظروف الديناميكية، وتعمل وحدة التحكم غير المباشرة بشكل أفضل في حالة الاستقرار[12].

قام Mollaee وزملاؤه بتصميم منظم ذاتي التوليف لمحول Boost باستخدام تعديل عرض النبضة، الذي تم تحسينه بشكل ديناميكي من خلال مخطط تحديد الانحدار الأسي المتين. فيما يتعلق بالتأثيرات السلبية للاضطرابات الضارة على المحولات، تم تصميم طريقة توضع الأقطاب باستخدام آلية تكيفية مع تقنية تخمين للبارامترات بشكل لحظي، وهي بسيطة في الهيكل ويمكن أن توفر تخمين للبارامترات أكثر دقة وكفاءة أفضل في المواقف الصعبة، لا سيما ضد ضوضاء.

استنادًا إلى بنية محول Boost، يُطلق على نظام الحلقة المفتوحة نظام طور غير أصغري مما يخلق بعض القيود الصعبة لتصميم وحدة التحكم. الهدف الأساسي لتصميم وحدة تحكم هو ضمان استقرار النظام والتنظيم المناسب ضمن نطاق محدد مسبقًا من ظروف التشغيل. تعدّ وحدة التحكم هذه النظام بمنزلة هيكل الصندوق الأسود، وبالتالي، ليست هناك حاجة إلى النموذج الرياضي للنظام. يمكن أن تقلل هذه الميزة من العبء الحسابي، وتوفر ديناميكيات أسرع جنبًا إلى جنب مع سهولة التنفيذ. أخيرًا، يتم اختبار قوة استراتيجية التحكم هذه من خلال النتائج التجريبية والمحاكاة في ظروف مختلفة[13].

قام wang وزملاؤه بدراسة منهجية تحكم عائم تكيفي للمفاعل الكيميائي ذي التقليب المستمر. يُنظر إلى هذا النظام على أنه فئة من الأنظمة غير المنتهية، ويتم حل النظام من خلال نظرية القيمة المتوسطة.

يتم استخدام توابع ليابونوف التكاملية (iBLFs)للتعامل مع قيود الإخراج في عملية تصميم وحدة التحكم التكيفية لوقت محدود. من أجل حساب مشتق الوقت لوحدة التحكم الافتراضية، تم اقتراح عامل تفاضل متقارب زمني محدود FTCD، والذي يمكن أن يتجنب مشكلة التعقيد في تصميم الخلفية. استنادًا إلى نظرية استقرار الوقت المحدود، لا يضمن النهج المقترح استقرار الحلقة المغلقة فحسب، بل يضمن أيضًا تتبع الأداء في وقت محدود. أخيرًا، تم عرض نتائج المحاكاة على CSTR للكشف عن مدى كفاءة نظام التحكم المطور[14].

قام Derakhshannia وزملاؤه بالتحقيق في مشكلة التحكم المتين في المفاعل ذات التقليب المستمر. تعد CSTR واحدة من أكثر المفاعلات أهمية في العمليات الكيميائية، والتي تجعل من الصعب للغاية التحكم في آثار الاضطرابات الديناميكية غير الخطية.

أولاً، تم تقديم تحكم جديد في وضع الانزلاق لوقت محدود يزيل تأثيرات الاضطراب ويضمن تتبع الوقت المحدود. ثانيًا، للتعويض بشكل أفضل عن الاضطرابات ولتحسين أداء المتحكم، تم تطوير مراقب اضطراب الوقت المحدود. أخيرًا، تم تقديم طريقة تحكم قوية تكيفية بناءً على التحكم في وضع الانزلاق المقترح ومراقب الاضطراب. تم إجراء تحليل الاستقرار للتحقيق في تتبع الوقت المحدود لنظام الحلقة المغلقة تحت وحدات التحكم المقترحة. إلى جانب ذلك، لتحسين أداء وحدات التحكم المقترحة، تم ضبط معلمات التصميم بواسطة خوارزمية التحسين الجيني. تم إجراء نتائج المحاكاة لتأكيد كفاءة الطرق المقترحة من حيث تتبع الأخطاء ومعدلات التقارب. أظهر التحكم المقترح في وضع الانزلاق في الوقت المحدد والتحكم التكيفي في وضع الانزلاق في الوقت المحدد مع أوقات استقرار تبلغ 1.73 ثانية و 1.71 ثانية وكذلك IAE من 0.509 و 0.4843، على التوالي، أداء مرغوبًا أكثر من وحدات التحكم الأخرى[15].

2-3-خلاصة الدراسات السابقة:

ركزت الدراسات السابقة على مقارنة خوارزمية المنظم ذاتي التوليف مع التحكم التقليدي أو اعتمادها كمتحكم داعم لمتحكم تقليدي أو استخدام المنظم ذاتي التوليف لتحديد بارامترات المتحكم PID العائم، كما تم اعتماد الخوارزمية الصريحة في تصميم المنظم ذاتي التوليف.

أما في دراستنا سنعتمد الخوارزمية الضمنية في تصميم المنظم ذاتي التوليف مما يسمح بإيجاد بارامترات المتحكم بدون الحاجة إلى تقريب نموذج النظام بتابع تحويل خطي، بالإضافة إلى تطوير المنظم ذاتي التوليف باستخدام المنطق العائم.

الفصل الثالث

الأسس النظرية للبحث

(التحكم التكيفي- المنطق العائم)

3-1-مقدمة:

بعد أن تم عرض الدراسات المرجعية التي تناولت خوارزميات التحكم التكيفي والتطبيقات عليها، سيتم خلال هذا الفصل شرح المفاهيم الأساسية للتحكم التكيفي ولمحة تاريخية عنه، ومن ثم ذكر خوارزميات التحكم التكيفي والتوسع بشرح خوارزمية المنظم ذاتي التوليف ومراحلها وأشكالها والمعادلات الرياضية المرتبطة بها. ومن ثم تم شرح المفاهيم الأساسية للمنطق العائم.

3-2-التحكم التكيفي:

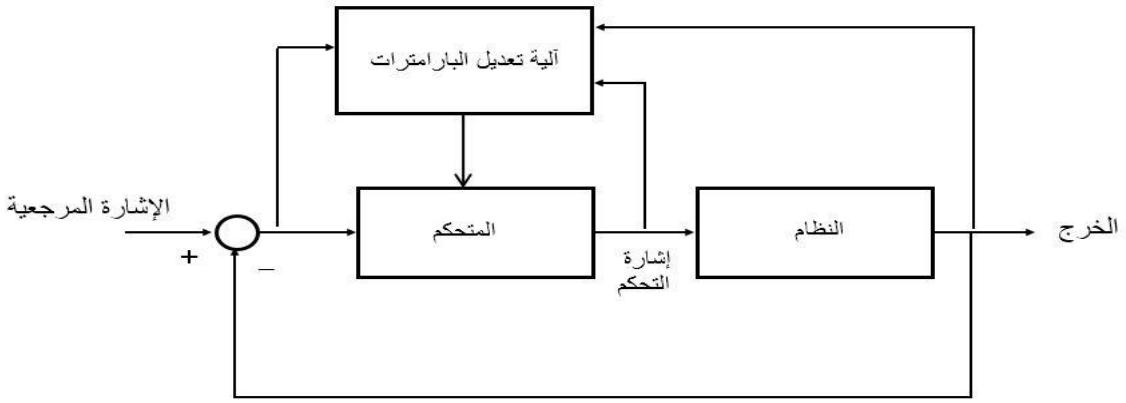
يعد التحكم التكيفي شكل من أشكال التحكم غير الخطي يتم فيه تعديل بارامترات المتحكم تلقائيًا للتكيف مع بارامترات النظام المتغيرة مع الزمن أو غير الدقيقة وذلك للحصول على أداء أفضل.

بدأ العمل على التحكم التكيفي في أوائل الخمسينيات من القرن الماضي، حيث كان هناك بحث مكثف حول تصميم الطيار الآلي للطائرات عالية الأداء، وبعد جهد كبير وجد أن جدولة الربح كانت تقنية مناسبة لأنظمة التحكم في الطيران. خلال تلك الفترة، تميز العمل على التحكم التكيفي بالكثير من الحماس ولكن سرعان ما تضاءل الاهتمام بالتحكم التكيفي بسبب الافتقار إلى الرؤى وإثباتات الاستقرار إلى جانب تحطم رحلة تجريبية. في أواخر الستينيات، أسهمت التطورات في نظرية التحكم في تطوير التحكم التكيفي (على سبيل المثال، وصف فضاء الحالة، ونظرية الاستقرار في Lyapunov، والبرمجة الديناميكية). في السبعينيات وأوائل الثمانينيات من القرن الماضي، تم تقديم براهين على استقرار الأنظمة التكيفية. في أواخر الثمانينيات وأوائل التسعينيات، ظهرت رؤى جديدة حول دقة خوارزميات التحكم التكيفي. في الفترة الأخيرة ظهرت دراسات لربط التحكم التكيفي مع خوارزميات التعلم.

ولتوضيح أهمية التحكم التكيفي نطرح المثال التالي:

أثناء طيران الطائرة ستنخفض كتلتها ببطء نتيجة لاستهلاك الوقود لذلك نحن بحاجة إلى قانون تحكم يتكيف مع مثل هذه الظروف المتغيرة.[16]

يبيّن الشكل(3-1) المخطط العام للتحكم التكيفي:



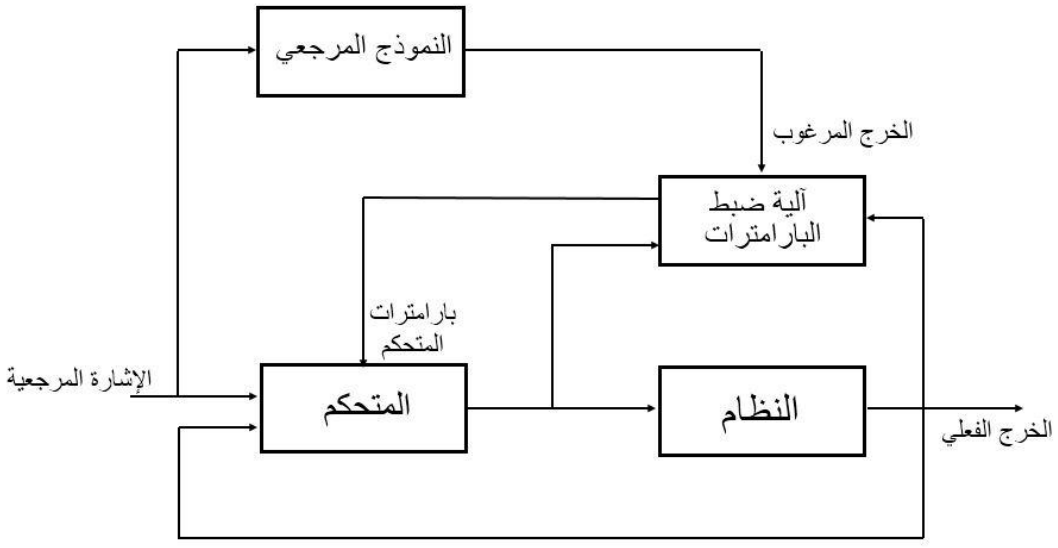
الشكل (3–1) المخطط العام للتحكم التكيفي [16]

هناك عدة خوارزميات للتحكم التكيفي نذكر منها: [16]

3-2-1- خوارزمية التحكم التكيفي ذي النموذج المرجعي:

تم اقتراح خوارزمية التحكم التكيفي ذي النموذج المرجعي لحل المسائل التي يتم فيها التعبير عن أداء النظام المطلوب من خلال النموذج المرجعي، الذي يحدد الخرج المرغوب للنظام.

حيث يتم في هذه الخوارزمية إيجاد قانون التحكم الذي يجعل استجابة النظام مماثلة تمامًا لاستجابة النموذج المرجعي، كما يتم ضبط بارامترات المتحكم بناءً على الخطأ، وهو الفرق بين خرج النظام وخرج النموذج المرجعي كما هو موضح بالشكل (3–2):



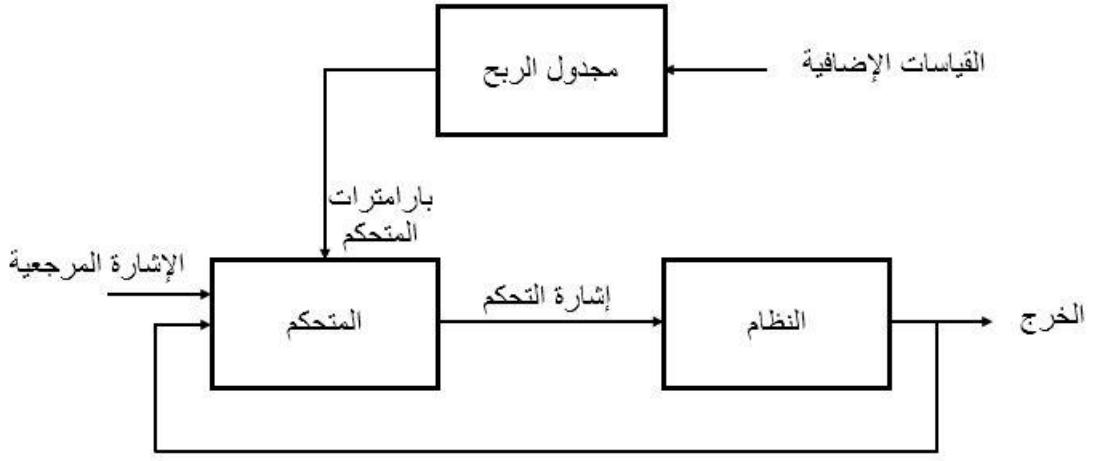
الشكل (3–2) المخطط الصندوقي للتحكم التكيفي ذي النموذج المرجعي[16]

3-2-2- خوارزمية جدولة الربح:

جدولة الربح هي خوارزمية تحكم من خلال الحلقة المفتوحة يتم فيها ضبط بارامترات المتحكم لتلائم ظروف التشغيل المختلفة.

تتميز خوارزمية جدولة الربح بأن بارامترات المتحكم تتغير بسرعة استجابةً للتغيرات في ديناميكية النظام كما تعتبر ملائمة في الحالة التي تكون فيها ديناميكية النظام معتمدة على عدد قليل نسبيًا من المتغيرات القابلة للقياس بسهولة. ولكن تعد هذه الخوارزمية حلقة تحكم مفتوحة بدون أي تغذية راجعة.

يبين الشكل (3-3) المخطط الصندوقي لخوارزمية جدولة الربح:



الشكل (3-3) المخطط الصندوقي لجدولة الربح [16]

3-2-3- المنظم ذاتي التوليف:

يعتمد المنظم ذاتي التوليف على تصميم آلية لضبط بارامترات المتحكم وذلك لأن التغيرات التي تحدث في النظام تنعكس على قيم بارامترات المتحكم.

لدينا شكلان للمنظم ذاتي التوليف: الشكل الأول يعتمد على إيجاد بارامترات المتحكم من خلال إيجاد بارامترات النظام ويسمى المنظم ذاتي التوليف الصريح (غير المباشر) بينما الشكل الثاني يعتمد على إيجاد بارامترات المتحكم من خلال قراءات الدخل والخرج بشكل مباشر دون إيجاد بارامترات النظام ويسمى المنظم ذاتي التوليف الضمني(المباشر).[16]

هناك عدة مراحل لتصميم المنظم ذاتي التوليف:

3-2-3-1- تعريف الجملة (System Identification) وتخمين بارامتراتها وبناء على هذه البارامترات يمكن تصميم قانون التحكم، وتتم على مرحلتين:

1) تحديد النموذج الرياضي للجملة ببارامترات مجهولة كما هو موضح بالمعادلة التالية:

$$y(k) + a_1 y(k-1) + \cdots + a_n y(k-n) = b_0 u(k) + b_1 u(k-1) + \cdots + b_m u(k-m-d) \quad (3-1)$$

حيث:

y: خرج النظام

u: دخل النظام

n: درجة النظام (مقام تابع التحويل)

m: درجة بسط تابع التحويل

k: رقم العينة

d: تأخير زمني

a1,a2…a_n,b0,… b_m:بارامترات تابع تحويل النظام

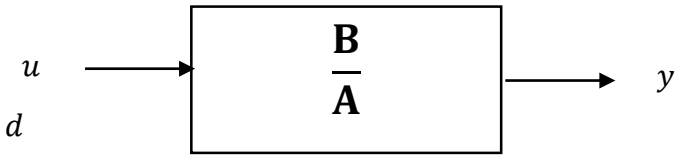
ويمكن كتابة المعادلة بشكل مختصر كما يلي:

$$A(q^{-1})y(k) = B(q^{-1})u(k-d) \quad (3-2)$$

حيث:

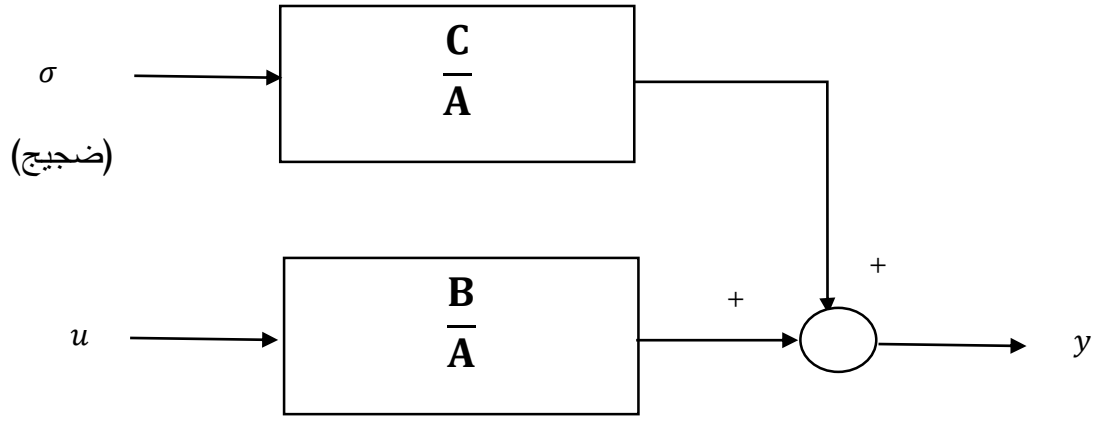
B: بسط تابع تحويل النظام

A: مقام تابع تحويل النظام



الشكل (3-4) المخطط الصندوقي للجملة المدروسة

ويمكن تمثيل الجملة باعتبار وجود ضجيج كما يلي:



الشكل (3-5) المخطط الصندوقي للجملة المدروسة مع ضجيج

2) تحديد البارامترات المجهولة بطريقة ما ويُستخدم عادة طريقة المخمن التربيعي الأصغري LSE وتعتمد هذه الطريقة على إيجاد البارامترات التي تجعل مجموع مربعات الخطأ أصغر ما يمكن، وُجدت هذه الطريقة لحل مشكلة أن عدد القراءات أكبر بكثير من عدد البارامترات المجهولة. وهذه الطريقة لها نوعان:

مخمن التربيع الأصغري:(LSE)

يتم تجميع بيانات الدخل والخرج ويتم حساب البارامترات دفعة واحدة ولكن هذه الطريقة لها سيئات كالحاجة إلى حجم ذاكرة كبير وقد تكون بعض القراءات خاطئة أو غير دقيقة دون إمكانية معرفة ذلك أما في حال وجود دلالات تبين إذا كانت البيانات دقيقة أم لا فيمكن اللجوء إلى طريقة weighted LSE التي تعطي كل قراءة وزن محدد، أما في حال عدم وجود دلالات نلجأ لطريقة RLSE.

قانون LSE:

$$Y = U\theta \qquad (3-3)$$

Y: قراءات الخرج وكل القراءات الثابتة وهي مصفوفة معروفة

U: القراءات المتعلقة بالدخل وهي مصفوفة معروفة

θ: شعاع البارامترات وهو مجهول ويتم حسابه من العلاقة التالية:

$$\widehat{\theta} = (U^T U)^{-1} U^T Y \qquad (3-4)$$

مخمن التربيع الأصغري العودي: (RLSE)

يتم حساب البارامترات في كل لحظة بالاعتماد على القياسات باللحظة السابقة وبالاعتماد على الدخل والخرج وميزة هذه الطريقة أنها لا تحتاج لذاكرة بالإضافة إلى إمكانية حساب الخطأ من أجل كل قياس واستبعاد القياس الخاطئ.

خطوات حساب البارامترات باستخدام RLSE:

1. نفرض القيم الابتدائية $k=0, P_0 = \mu I \ , \theta_0 = [0]$

2. نحسب θ_{k+1}, P_{k+1} من العلاقات التالية:

$$P_{k+1} = P_k - \frac{P_k U_{k+1} U_{k+1}^T P_k}{1 + U_{k+1}^T P_k U_{k+1}} \qquad (3-5)$$

$$E_{k+1} = Y_{k+1} - U_{k+1}^T \theta_k \qquad (3-6)$$

$$\theta_{k+1} = \theta_k + P_{k+1} U_{k+1} E_{k+1} \qquad (3-7)$$

3. K=k+1

4. نعود إلى الخطوة 2

القيم الابتدائية لـ θ,P:

إذا فرضنا إن $\theta_0 = [0]$ وبالتالي بما إن P تعبر عن مدى تباعد θ عن الوسطي فأن θ_0 ستكون في البداية بعيدة عن الوسطي ، لذلك نختار P_0 كبيرة ولتكن $P_0 = \mu I$ حيث μ عدد كبير يكون عادة بين 10 و 1000

3-2-3-2 المحددات:

يوجد العديد من المحددات منها المطال المتاح لإشارة التحكم، زمن التقطيع، الأقطاب المرغوبة في الحلقة المغلقة، طبيعة المتحكم يحددها خرج المتحكم، نمط التحكم

هناك نمطان للتحكم عموماً، التحكم التعقبي servo عندما نحتاج أن نجعل خرج النظام يتبع إشارة الدخل التي قد تكون ثابتة أو متغيرة مع الزمن. النمط الثاني من التحكم هو التنظيمي regulator نحتاج فيه لحذف التغيرات الضجيجية على خرج النظام.

3-2-3-3- المتحكم:

هناك عدة أنواع للمتحكم نذكر منها:

متحكم تناسبي تكاملي تفاضلي PID :يعتمد على إشارة الخطأ لحساب إشارة التحكم كالتالي:

$$u(t) = kp * e + kd * \frac{de}{dt} + ki * \int e.dt \qquad (3-8)$$

حيث:

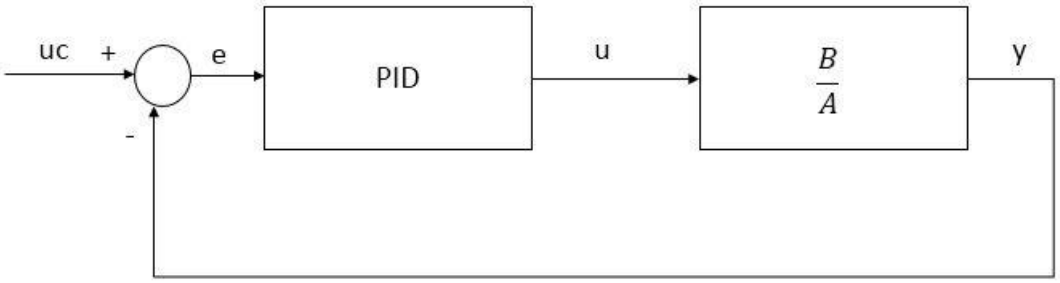
e: إشارة الخطأ

Kp: ربح تناسبي

Kd: ربح تفاضلي

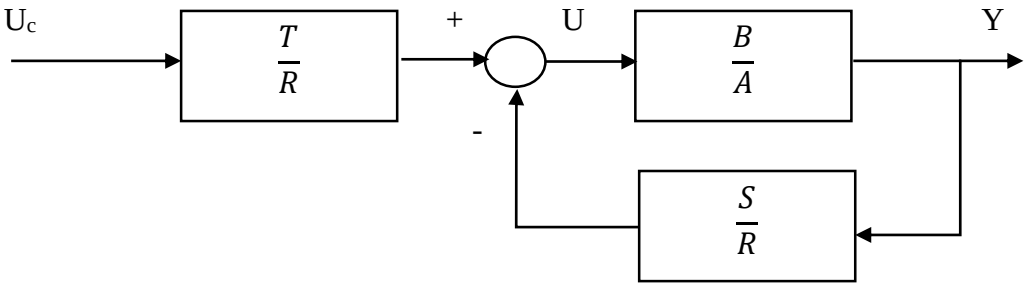
Ki: ربح تكاملي

ويظهر الشكل (3-6) المخطط الصندوقي للجملة مع متحكم PID :



الشكل (3-6) المخطط الصندوقي للجملة مع متحكم PID

متحكم أمامي خلفي STR : يعتمد على تقسيم المتحكم إلى مرحلتين أو قسمين أحدهما أمامي والآخر خلفي كما هو موضح في الشكل(3-7):



الشكل (3-7) المخطط الصندوقي للجملة مع متحكم أمامي خلفي STR

يمكن استنتاج معادلة التحكم للمتحكم STR من الشكل (3-7):

$$u(k) = \frac{T}{R}u_c(k) - \frac{S}{R}y(k) \qquad (3-9)$$

حيث:

u : دخل النظام

y : خرج النظام

uc : الإشارة المرجعية

S,T,R : كثيرات الحدود للمتحكم

3-2-3-4-طريقة تصميم المتحكم: هناك عدة طرق لتصميم المتحكم منها طريقة توضع الأقطاب وتعتمد هذه الطريقة على توضع الأقطاب المرغوبة في الحلقة المغلقة التي يتم تحديدها من المواصفات أو المحددات المطلوبة من النظام.

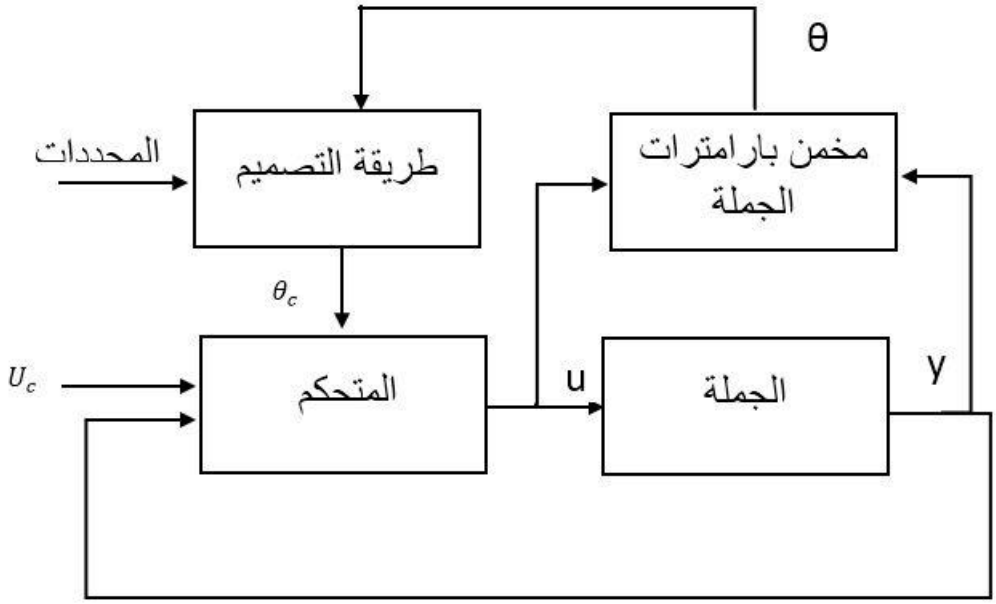
ذكرنا سابقاً أن المنظم ذاتي التوليف لديه شكلان وبالتالي تختلف طريقة تصميم بارامترات المتحكم حسب كل شكل ولذلك لدينا خوارزميتان لحساب هذه البارامترات:

3-2-3-4-1-خوارزمية المنظم ذاتي التوليف الصريحة Explicit Algorithm (غير المباشرة):

تعتمد خوارزمية المنظم ذاتي التوليف الصريحة على تخمين بارامترات النظام وذلك من خلال قياس كل من الدخل والخرج للنظام، ثم استخدام تقنية تخمين بارامترات للحصول على بارامترات النظام وذلك لأن التغيرات التي تحدث في النظام تنعكس على قيم بارامترات المتحكم، لذلك يتم في هذا النوع من التحكم الحصول على بارامترات المتحكم

كتابع لبارامترات النظام المراد التحكم به، وكلما تم الحصول على قيم جديدة لبارامترات النظام تقوم آلية ضبط بارامترات التحكم بتعديل بارامترات المتحكم حسب القيم الجديدة لبارامترات النظام.

يبيّن الشكل (3−8) المخطط الصندوقي للمنظم ذاتي التوليف الصريح (غير المباشر)



الشكل (3−8) المخطط الصندوقي للمنظم ذاتي التوليف الصريح (غير المباشر)[16]

ولذلك سميت بالطريقة غير المباشرة لأنه تم حساب بارامترات المتحكم من بارامترات الجملة أي توجد مرحلة وسيطة

$$(\mathrm{u},\mathrm{y}) \rightarrow \theta(\mathrm{B},\mathrm{A}) \rightarrow \theta_c(T,R,S)$$

بفرض أن تابع تحويل النظام المرغوب H_m ، وهو يكافئ تابع تحويل النظام بالحلقة المغلقة:

$$G_{cl} = \frac{y}{u_c} \equiv \frac{B_m}{A_m} = H_m \qquad (3-10)$$

من الشكل (3−9)، يمكن ان نكتب:

$$\frac{y}{u_c} = \frac{\frac{B}{A}}{1+\frac{BS}{AR}} \cdot \frac{T}{R} = \frac{B.T}{A.R+B.S} \equiv \frac{B_m}{A_m} \qquad (3-11)$$

حيث:

Bm: بسط تابع التحويل المرغوب

Am: مقام تابع التحويل المرغوب

غالباً ما يكون النظام المرغوب من الدرجة الثانية لأنه من السهل دراسة سلوك وخصائص نظام من الدرجة الثانية وبالتالي حتى لو كان النظام المدروس من الدرجة الرابعة مثلاً فيجب تصميم متحكم بحيث يكون سلوك النظام المدروس يكافئ سلوك نظام من الدرجة الثانية، ويتم ذلك من خلال إيجاد T,R,S بحيث تحقق اختصار أصفار مع أقطاب للوصول إلى نظام من الدرجة الثانية يكافئ النظام المرغوب ويمكن تحقيق ذلك بتجزئة كثير الحدود B إلى اصفار مستقرة واصفار غير مستقرة بحيث يمكن اختصار الاصفار المستقرة. يجب أن يكون الصفر المختصر هو صفر مستقر لأنه عند الاختصار سيتم اختصار صفر مع قطب وفي حال اختصار قطب غير مستقر أصبح هذا القطب خارج السيطرة ولا يمكن التحكم به ومهما كان التصميم دقيق لا يمكن التحكم بالنظام.

$$B = B^+.B^- \qquad (3-12)$$

B^+ : مجموعة الأصفار المستقرة

B^-: مجموعة الأصفار غير المستقرة

ويمكن ربط هذا الكلام بمعيار قابلية التحكم: نقول عن متحول حالة إنه قابل للتحكم إذا أمكن نقل هذا المتحول من حالة لأخرى، ومن قانون تابع التحويل التالي:

$$G(S) = C(SI_n - A)^{-1}B \qquad (3-13)$$

ندرس العبارة التالية:

$$(SI_n - A)^{-1}B \qquad (3-14)$$

وفي حال وجود اختصار صفر مع قطب ذلك يعني أن أحد متحولات الحالة خارج السيطرة ولا يمكن التحكم به.

بعد أن تم تجزئة B لدينا بعض الفرضيات لتصميم كثيرات الحدود المطلوبة(T,R,S):

1- لا يوجد أقطاب مشتركة بين A و B لأنه في حال وجود أقطاب مشتركة فسيتم اختصارها من تابع تحويل الحلقة المفتوحة $\frac{B}{A}$

2- من علاقة تابع تحويل النظام في الحلقة المغلقة نلاحظ أنه حتى نستطيع اختصار أصفار مع أقطاب فحتماً يوجد أقطاب مشتركة بين R و B وبالتالي يمكن تصميم R كالتالي:

$$R = B^+.R' \qquad (3-15)$$

وبالتعويض في المعادلة(3−11):

$$\frac{y}{u_c} = \frac{B^+.B^-.T}{A.B^+.R'+B^+.B^-.S} = \frac{B^-.T}{A.R'+B^-.S} \equiv \frac{B_m}{A_m}.\frac{A_0}{A_0} \qquad (3-16)$$

A_0 : المعادلة المميزة لنظام الراصد في حال كان شعاع الحالة غير قابل للقياس ويتم حسابه دون أن يدخل في تصميم بارامترات المتحكم.

3− يتم تصميم T من العلاقة التالية:

$$B^-.T = B_m.A_0 \rightarrow T = \frac{B_m.A_0}{B^-} \qquad (3-17)$$

4− تحديد درجة كثيرات الحدود R', A_0, S :

$$\deg(A_0) \geq 2\deg(A) - \deg(A_m) - \deg(B^+) - 1 \qquad (3-18)$$

$$\deg(R') = \deg(A_0) + \deg(A_m) - \deg(A) \qquad (3-19)$$

$$\deg(S) = \deg(A) - 1 \qquad (3-20)$$

بعد حساب درجة كثيرات الحدود نعوض بالمعادلة التالية:

$$A.R' + B^-.S = A_m.A_0 \qquad (3-21)$$

وتسمى هذه المعادلة بمعادلة بيزوت

وبذلك نكون قد صممنا بارامترات المتحكم المطلوب ولكن يوجد مشكلة في هذه الطريقة وهي كيف يمكن تجزيئ B وذلك بسبب أن بارامترات الجملة مجهولة ويتم حسابها باستخدام RLSE وبالتالي لا يمكن معرفة الأصفار المستقرة وغير المستقرة ولذلك نلجأ إلى معالجة المشكلة من خلال حالتين للأنظمة:

أنظمة ذات طور أصغري Min−phase وأنظمة ذات طور غير أصغري و Non min−phase.

عندما تكون جميع حلول كثير الحدود B مستقرة تسمى هذه النظم نظماً ذات طور أصغري Min−phase

أما عند وجود حلول غير مستقرة فتسمى نظماً ذات طور غير أصغري Non min−phase

وهكذا يتم تجزئة B كالتالي:

1− حالة النظم ذات الطور الأصغري:

كما ذكرنا أنه في هذه النظم تكون جميع الأصفار مستقرة

$$B = B^{+} \qquad (3-22)$$

$$B^{-} = 1 \qquad (3-23)$$

$$A.R' + S = A_m.A_0 \qquad (3-24)$$

$$R' = \frac{A_m.A_0}{A} \qquad (3-25)$$

S: باقي القسمة

2- حالة النظم ذات الطور غير الأصغري:

$$B = B^{-} \qquad (3-26)$$

$$B^{+} = 1 \qquad (3-27)$$

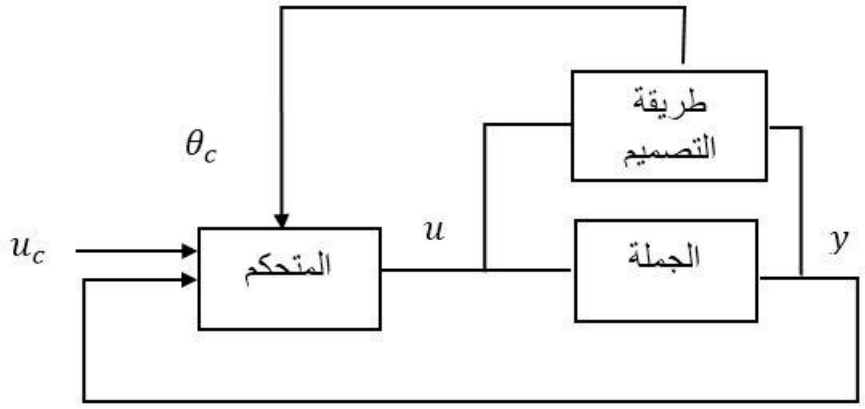
$$R' = R \qquad (3-28)$$

$$A.R + B.S = A_m.A_0 \qquad (3-29)$$

3-2-3-4-2-خوارزمية المنظم ذاتي التوليف الضمنية Implicit Algorithm **(المباشرة):**

يتم حساب بارامترات المتحكم مباشرة من قراءات الدخل والخرج دون حساب بارامترات الجملة بشكل صريح لكن يتم حسابها ضمنياً ويتم حساب البارامترات عن طريق LSE أو RLSE غالباً

$$(\mathrm{u}, \mathrm{y}) \rightarrow \theta_c(T, R, S)$$



الشكل (3-9) المخطط الصندوقي للمنظم ذاتي التوليف الضمني (المباشر)[16]

يتم حساب البارامترات R,S من المعادلة (3-21) دون الحاجة إلى حساب A,B لذلك نلجأ إلى تابع تحويل النظام في الحلقة المفتوحة:

$$\frac{\mathrm{y}}{\mathrm{u}} = \frac{\mathrm{B}}{\mathrm{A}} \rightarrow \mathrm{y}.\mathrm{A} = \mathrm{u}.\mathrm{B} \qquad (3-30)$$

ثم يتم التعويض في معادلة بيزوت (3-21) ويتم إجراء بعض العمليات الرياضية للوصول للشكل النهائي (ضرب الطرفين بـ y):

$$\mathrm{y}.\mathrm{A}.\mathrm{R}' + \mathrm{y}.\mathrm{B}^{-}.\mathrm{S} = \mathrm{y}.\mathrm{A}_0.\mathrm{A}_\mathrm{m} \qquad (3-31)$$

$$\mathrm{u}.\mathrm{B}.\mathrm{R}' + \mathrm{y}.\mathrm{B}^{-}.\mathrm{S} = \mathrm{y}.\mathrm{A}_0.\mathrm{A}_\mathrm{m} \qquad (3-32)$$

$$\mathrm{u}.\mathrm{B}^{-}.\mathrm{B}^{+}.\mathrm{R}' + \mathrm{y}.\mathrm{B}^{-}.\mathrm{S} = \mathrm{y}.\mathrm{A}_0.\mathrm{A}_\mathrm{m} \qquad (3-33)$$

$$\mathrm{u}\mathrm{B}^{-}\mathrm{R} + \mathrm{y}\mathrm{B}^{-}\mathrm{S} = \mathrm{y}\mathrm{A}_0\mathrm{A}_\mathrm{m} \qquad (3-34)$$

$$\mathrm{B}^{-}(\mathrm{u}\mathrm{R} + \mathrm{y}\mathrm{S}) = \mathrm{y}\mathrm{A}_0\mathrm{A}_\mathrm{m} \qquad (3-35)$$

نلاحظ أنه لدينا كثير الحدود B^- لم نستطيع التخلص منها لذلك نلجأ إلى حل المسالة من خلال النظم ذات الطور الأصغري وغير الأصغري

1- نظام الطور الأصغري:

نعوض المعادلة (3-23) في المعادلة(3-35) :

$$uR + yS = yA_0A_m \qquad (3-36)$$

يتم حساب درجة كل من A_0 (إذا لم يكن معطى) و S وR

$$\deg(A_0) = d_0 - 1 \qquad (3-37)$$

حيث d_0: الدرجة النسبية (الفرق *بين درجة* البسط ودرجة المقام)

$$d_0 = \deg(A) - \deg(B) \qquad (3-38)$$

$$l = \deg(s) = \deg(R) = \deg(A_0.A_m) - d_0 \qquad (3-39)$$

إذا لم تعطى B_m يتم حسابها كما يلي:

$$B_m = A_m(1)Z^{d_0} \qquad (3-40)$$

بفرض أن S كثير حدود من الدرجةl

$$S = s_0 + s_1Z^{-1} + s_2Z^{-2} + \cdots + s_lZ^{-l} \qquad (3-41)$$

بفرض أن R كثير حدود من الدرجةl

$$R = r_0 + r_1Z^{-1} + r_2Z^{-2} + \cdots + r_lZ^{-l} \qquad (3-42)$$

بفرض أن نظام الراصد من الدرجة الأولى والنظام المرغوب من الدرجة الثانية تصبح لدينا:

$$A_0A_m = a_0 + a_1Z^{-1} + a_2Z^{-2} + a_3Z^{-3} \qquad (3-43)$$

نعوض المعادلات (3-40)،(3-41)،(3-42) في المعادلة (3-36):

$$\left(r_0 + r_1Z^{-1} + r_2Z^{-2} + \cdots + r_lZ^{-l}\right)u + \left(s_0 + s_1Z^{-1} + s_2Z^{-2} + \cdots + s_lZ^{-l}\right)y = (a_0 + a_1Z^{-1} + a_2Z^{-2} + a_3Z^{-3})y \qquad (3-44)$$

حيث:

$r_0, r_1, \cdots, r_l, s_0, s_1, \cdots s_l$ بارامترات المتحكم وهي مجهولة يجب تحديد قيمتها

a_0, a_1, a_2, a_3 ثوابت معروفة

نحول المعادلة (3−44) إلى مستوي الزمن:

$$\mathrm{r}_0 u(k) + \mathrm{r}_1 \mathrm{u}(\mathrm{k}-1) + \mathrm{r}_2 \mathrm{u}(\mathrm{k}-2) + \cdots + \mathrm{r}_\mathrm{l} u(k-l) + \mathrm{s}_0 \mathrm{y}(\mathrm{k}) + \mathrm{s}_1 y(k-1) + \mathrm{s}_2 \mathrm{y}(\mathrm{k}-2) + \cdots + \mathrm{s}_\mathrm{l} \mathrm{y}(\mathrm{k}-\mathrm{l}) = \mathrm{a}_0 \mathrm{y}(\mathrm{k}) + \mathrm{a}_1 \mathrm{y}(\mathrm{k}-1) + \mathrm{a}_2 \mathrm{y}(\mathrm{k}-2) + \mathrm{a}_3 y(k-3) \qquad (3-45)$$

تتم كتابة المعادلة (3−45) بشكل مصفوفي بحيث يمكن *تطبيق خوارزمية* LSE (3−3) عليها:

$$\mathrm{a}_0 \mathrm{y}(\mathrm{k}) + \mathrm{a}_1 \mathrm{y}(\mathrm{k}-1) + \mathrm{a}_2 \mathrm{y}(\mathrm{k}-2) + \mathrm{a}_3 y(k-3) =$$

$$[u(k) \quad \cdots \quad u(k-l) \quad y(k) \quad \cdots \quad y(k-l)] \begin{bmatrix} \mathrm{r}_0 \\ \vdots \\ r_l \\ s_0 \\ \vdots \\ s_l \end{bmatrix} \qquad (3-46)$$

2- نظام ذو طور غير أصغري:

نعوض المعادلة (3−26) بالمعادلة(3−35):

$$\mathrm{BRu} + \mathrm{BSy} = \mathrm{y}.\mathrm{A}_0.\mathrm{A}_\mathrm{m} \qquad (3-47)$$

$$R_1 \mathrm{u} + S_1 \mathrm{y} = \mathrm{y}.\mathrm{A}_0.\mathrm{A}_\mathrm{m} \qquad (3-48)$$

يتم *حساب* R_1, S_1 بنفس الطريقة ثم نستنتج *R,S* بحذف العامل المشترك بين R_1 و S_1

وفي حال لم تُعطى B_m يتم حسابها كما يلي:

$$B_m{}' = \frac{B_m}{B^-} = \frac{A_m(1)}{B(1)} : \mathrm{constant} \qquad (3-49)$$

بعد حساب R,S يتم حساب T *من* العلاقة (3−17)

3-3-المنطق العائم:

يقدم المنطق العائم (Fuzzy Logic) الإطار العام لحل مشكلة تمثيل المعلومات التقريبية أو غير المحددة تماماً ويوفر الآلية اللازمة لاستخدام هذه المعلومات والمعارف.
ظهرت فكرة المنطق العائم لأول مرة في عام 1965 بواسطة العالم الإيراني لطفي زاده. ويركز المنطق العائم على الاستنتاج من خلال التعابير والألفاظ اللغوية غير المحددة، مثل: طويل، قصير، شاب، كهل.

تسمى هذه التعابير بالمتغيرات اللغوية (Linguistic variables) وتستخدم المتغيرات اللغوية في بناء المعارف في المنطق العائم حيث يعطى المتغير قيماً غير محددة فعلى سبيل المثال عندما يقال: الشاب طويل فإنه قد أعطي المتغير اللفظي (الطول) القيمة (طويل)، وهي قيمة غير محددة تماماً في المنطق التقليدي (classical logic) ولكنها ذات معنى ضمن المنطق العائم. وعادةً ما يتم ربط المتغيرات في المنطق العائم لاستنتاج الحقائق مثال (إذا كانت الأرض زلقة خفف السرعة)، إن الجمل الشرطية المماثلة للبنية السابقة هي الأساس الذي يقوم عليه الاستدلال في المنطق العائم.

إن المتغير في المنطق التقليدي يأخذ إحدى القيمتين {1,0} أو بطريقة أخرى {T,F} أي {True ,False },
فإذا كانت على سبيل المثال المجموعة الشاملة X وأخذنا A كمجموعة جزئية منها فإن أي عنصر من عناصر المجموعة الشاملة إما أن ينتمي إلى A أو لا ينتمي. فعلى سبيل المثال إذا اعتبرنا مجموعة من الأشخاص كمجموعة شاملة X وأخذنا مجموعة جزئية هي الأطفال A وكمعيار لتحديد هذه المجموعة سنقول إن كل شخص عمره أصغر أو يساوي عشر سنوات هو طفل وينتمي لـ A. لنأخذ حالة الشخص الذي عمره عشر سنوات ويوم إن هذا الشخص لن ينتمي لمجموعة الأطفال وسيكون قد فقد طفولته فجأة. إن المثال السابق يوضح مدى قصور المنطق الكلاسيكي في التعبير عن الحقائق العامة بشكل جيد وهو أحد أهم الأسباب التي دفعت باتجاه المنطق العائم.

يقدم المنطق العائم حلاً مناسباً للمشكلة التي أوضحت سابقاً حيث إنه يجعل علاقة الانتماء علاقة متدرجة ويصبح المتغير ينتمي للمجموعة بدرجة تتراوح بين [1,0] بدلاً من حصرها بالقيمتين {1,0}. يساعد هذا التدرج في التعبير عن الحقائق الواقعية بشكل أفضل، فمثلاً الشخص الذي عمره 6 سنوات ينتمي لمجموعة الأطفال بدرجة 0.9 أما الشخص الذي عمره 10 سنوات فينتمي بدرجة 0.4 والذي عمره 13ينتمي بدرجة 0.1.

حقق المنطق العائم تطورات كبيرة في شتى المجالات، فقد استخدمت مفاهيمه للتحكم بأول فرن للإسمنت في الدانمارك عام 1975. وما لبث أن تبعها منتجات عدة تتراوح بين آلات الغسيل وآلات التصوير فمكيفات الهواء الصناعية والمضخات وكذلك استخدم بشكل واسع في بناء الأنظمة الخبيرة خاصة في المجال الطبي [17] .

يمتاز المنطق العائم بالعديد من الميزات التي جعلته مناسباً لكثير من التطبيقات العملية ونذكر منها:

- كل نظام منطقي يمكن تمثيله بالمنطق العائم.
- يتعامل بالمتغيرات اللغوية فيمكن تمثيل المعارف والحقائق باللغة المحكية وبسهولة.
- سهولة الفهم والمرونة والسماحية في التعبير عن الحقائق.
- يمكنه نمذجة النظم اللاخطية بسهولة.
- يمكنه حل مشكلة عدم التأكيد uncertainty.
- يمكن استخدامه في مجال التحكم المتكيّف والتحكم الإشرافي.
- يمكن تصميم النظام ضمنه بالاعتماد على الخبرات البشرية دون الحاجة إلى دراسة وتمثيل رياضي.

3-3-1- المفاهيم الأساسية في المنطق العائم:

3-3-1-1-المجموعة التقليدية:

في المجموعة الكلاسيكية أو التقليدية يمكن لعنصر ما إما أن ينتمي للمجموعة وإما أنه لا ينتمي لها بتاتاً. فلنعتبر مثلاً المجموعة A ومجموعة U. إذا قمنا بتعريف الدالة μ_A التي تعطي لكل عنصر من عناصر المجموعة U درجة انتمائه إلى المجموعة A، وذلك عبر إعطائها الرقم 1 في صورة انتماء العنصر للمجموعة أي $\mu_A(x) = 1$ إذا كان عنصر المجموعة U أي العنصر x ينتمي للمجموعة A. أما إذا كان العنصر x لا ينتمي ل A فإن الدالة μ_A تعطيه الرقم 0 أي $\mu_A(x) = 0$ [18].

3-3-1-2-المجموعة العائمة:

حسب تعريف الدكتور لطفي زاده، في بحثه الشهير المنشور سنة 1965، المجموعة العائمة هي مجموعة من الكائنات التي تمتلك قيماً متسلسلة ومتدرجة لانتمائها إلى تلك المجموعة، وتتميز العناصر المنتمية إلى هذه المجموعات حسب نسبة انتمائها إلى تلك المجموعات العائمة، وهذا يتم تحديده باستخدام دالة الانتماء أو دالة العضوية، ففي المجموعة العائمة يمكن لعنصر ما أن يكون منتمياً إلى حد معين للمجموعة. لنأخذ مثالاً: لنعتبر المجموعة A مجموعة درجات الحرارة التي تصنف باردة (باردة بالنسبة للإنسان) ولنعتبر المجموعة U هي كل درجات الحرارة التي يمكن أن توجد في الكون مثلاً، ولنأخذ من المجموعة U العنصر x=−100 هذه درجة حرارة باردة جداً ولذلك فهي تنتمي تماماً للمجموعة A أي $\mu_A(x) = 1$ أما إذا أخذنا درجة x=+500 فإن هذه الدرجة

من الحرارة حارة جداً ولذلك العنصر x لا ينتمي أبداً إلى A. إلى الآن لم نخرج عن استعمالات المنطق الكلاسيكي أو التقليدي كما هو مبين أعلاه ولكن لنأخذ الآن درجة الحرارة 12 درجة أي x=12. في المنطق التقليدي ليس لدينا إلا احتمالان إما أن x ينتمي أو أنه لا ينتمي ل A. في المنطق العائم يمكن أن نقول أن x ينتمي مثلاً إلى درجة 50% إلى A أي أن درجة حرارة 12 درجة هي نصف باردة نصف معتدلة مثلا أي $\mu_A(x) = 0.5$ [18].

3-3-1-3-المتغيرات اللغوية Linguistic variables:

تعدّ المتغيرات اللغوية جوهر أنظمة التحكم العائم فهي كلمات أو مصطلحات لغوية أكثر منها أرقام، حيث يتعامل المنطق العائم مع كلمات ومصطلحات اللغة الطبيعية، ويسمح بنمذجة هذه المصطلحات اللغوية كمتغيرات لغوية مما يفتح مجالاً واسعاً لاستخدام نظرية المنطق العائم في مجال التحكم والتطبيقات الأخرى.

وهذه المتغيرات اللغوية تستخدم ضمن القواعد العائمة في نظم الاستدلال العائمة FIS، فالمتغير هو اسم مثل (درجة الحرارة – الضغط – المسافة – التدفق – السرعة – الخطأ .....) وتتضمن مجموعة المتغيرات قيماً متدرجة أو عائمة مثلاً: مجموعة أعمار الناس هي مجموعة عائمة والتعابير (شاب، راشد، عجوز) هي مجموعة القيم اللغوية الخاصة بهذه المجموعة.

ومن الجدير بالذكر أن زيادة عدد القيم اللغوية التي تصف نظاماً معيناً تزيد من مرونة المتحكم المصمم لهذا النظام [19].

3-3-1-4-توابع الانتماء: Membership Function

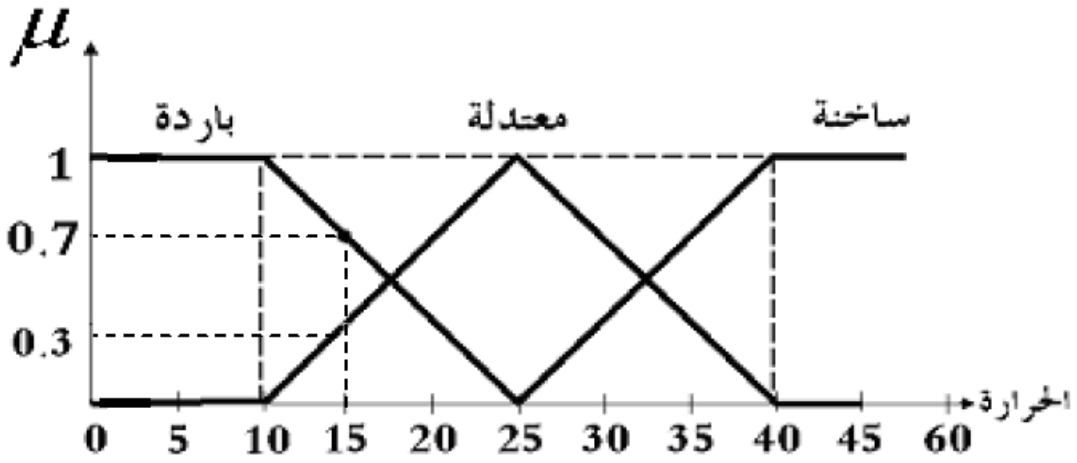
تُوصف المجموعة العائمة بتوابع انتمائها , حيث يشكل تابع الانتماء المدخل الرياضي لتعريف و تمثيل المتغيرات اللغوية ويرمز لتابع الانتماء ب $\mu_E(x)$:

حيث E : هو أحد قيم المتغير اللفظي الذي يرتبط بمجموعة عائمة.

x : هو عنصر ما من المجموعة الكلية .

μ : هو التابع الذي يربط كل عنصر بقيمة تنتمي للمجال [1 , 0] تدل على درجة انتمائه للمجموعة.

فمثلاً ليكن لدينا ثلاثة توابع انتماء لتمثيل درجة الحرارة وهي " باردة " و " معتدلة " و " ساخنة " الموضحة في الشكل (3-10):



الشكل (3-10) تمثيل درجة الانتماء

من خلال الشكل نلاحظ أنه إذا كانت درجة الحرارة 15 درجة مئوية فإنها تصنف على أنها باردة بدرجة انتماء 0.7، وفي نفس الوقت تصنف على أنها معتدلة بدرجة انتماء 0.3 وساخنة بدرجة انتماء صفر. أي بواسطة تطبيق توابع الانتماء يتم تحويل عناصر المجموعات العائمة إلى قيم معينة ضمن المجال [1, 0]، وأما اختيار وتحديد حدود توابع الانتماء فهي متروكة لمصمم المتحكم العائم ولزيادة دقة التحكم يكون من الضروري زيادة توابع الانتماء واختيار تقسيمات أكثر دقة.

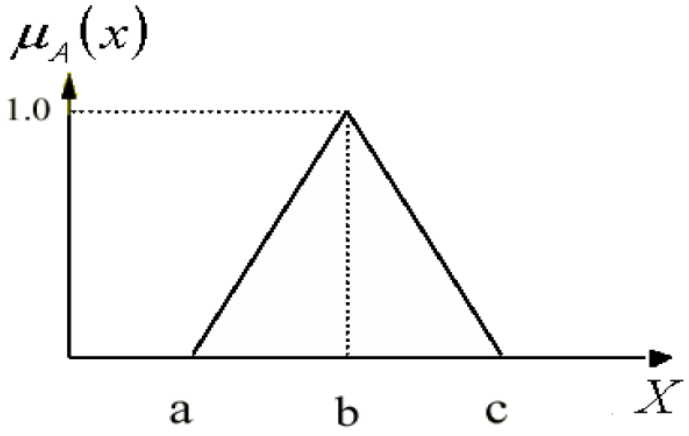
أما شكل تابع الانتماء فيمكن أن يكون أحادي البعد أو متعدد الأبعاد، حيث تُصمَّم توابع الانتماء بالاعتماد على عدة أمور كمقابلة الخبراء في الموضوع المطلوب التحكم به أو تشكيل التوابع آلياً من المعطيات، وبالتالي يمكن أن توجد أشكال كثيرة لتوابع الانتماء، ولا يزال شكل تابع الانتماء هو أحد المسائل المفتوحة للبحث، وأهم توابع الانتماء التي يمكن استخدامها:

تابع الانتماء المثلثي: Triangular Membership Function

يُعتبر الشكل المثلثي لتوابع الانتماء الأكثر شيوعاً، ويُحدد تابع الانتماء المثلثي بثلاث نقاط مميزة (a، b، c) مُوضحة بالشكل (3-11) بحيث يكون: a < b < c .

ويمكن أن يكون تابع الانتماء متناظراً أو غير متناظر، ويُعبر عنه رياضياً:

$$\text{Triangular}(x,a,b,c) = \begin{cases} 0 & x \le a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \le x \le b \\ \frac{c-x}{c-b} & b \le x \le c \\ 0 & c \le x \end{cases} \qquad (3\text{-}50)$$

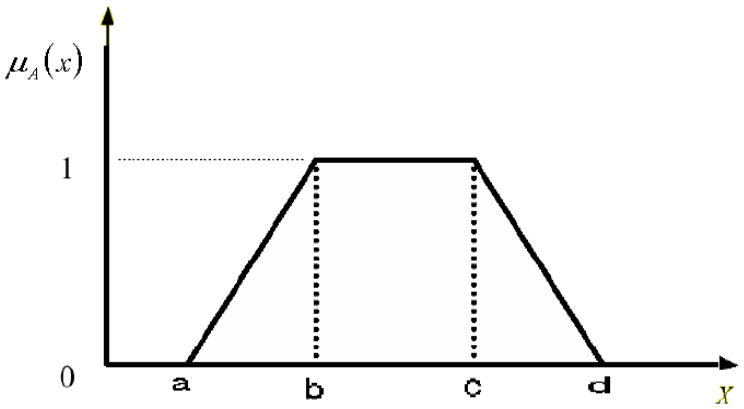


الشكل (3−11) تابع الانتماء المثلثي

تابع الانتماء ذو الشكل شبه المنحرف Trapezoidal Membership Function :

يُعطي هذا النوع من توابع الانتماء مجالات أوسع من النوع السابق، حيث يُحدَّد تابع انتماء شبه المنحرف بأربع نقاط أساسية (a , b , c , d) موضح بالشكل(3−12) ، ويُعبَّر عنه رياضياً بالعلاقة:

$$\mu(x) = \text{Trapezoid}(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x \le a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \le x \le b \\ 1 & b \le x \le c \\ \frac{d-x}{d-c} & c \le x \le d \\ 0 & d \le x \end{cases} \qquad (3-51)$$

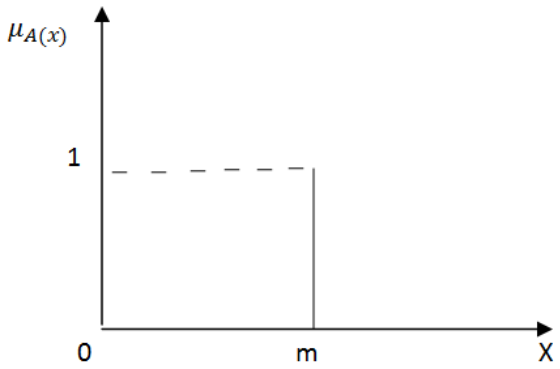


الشكل(3−12) تابع الانتماء ذو الشكل شبه المنحرف

تابع الانتماء ذو القيمة الوحيدة Singleton Membership Function:

إن تابع الانتماء ذو القيمة الوحيدة يأخذ القيمة 0 من أجل كامل المجال المدروس عدا قيمة واحدة m حيث تكون قيمته 1 , و رياضياً يُعبر عنه بالعلاقة :

$$SG(X) = \begin{cases} 0 & x \neq m \\ 1 & x = m \end{cases} \qquad (3-52)$$



الشكل (3-13) تابع الانتماء ذو القيمة الوحيدة [18]

تابع الانتماء الغاوصي : Gaussian Membership Function

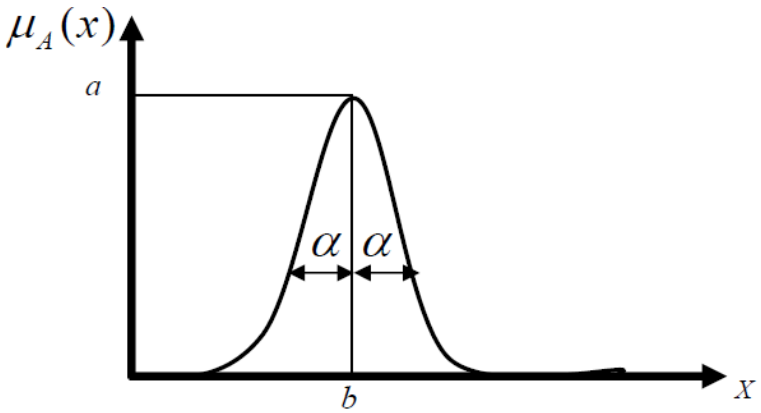
يتحدد تابع الانتماء الغاوصي بالعلاقة التالية :

$$\mu(x) = \text{Gaussian}(x, b, \alpha) = e^{\frac{(x-b)^2}{-2\alpha^2}} \qquad (3-53)$$

حيث : b : مركز تابع الانتماء (مكان القمة).

α : عرض مجال تابع الانتماء .

والشكل (3-14) يُبيّن تابع الانتماء الغاوصي :



الشكل (3-14) تابع الانتماء الغاوصي

تابع الانتماء السيغمويد Sigmoidal Membership Function

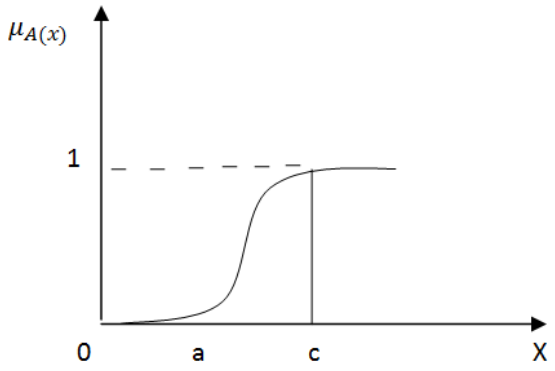
يُعطى تابع انتماء السيغمويد بالعلاقة:

$$\text{Sig}(x, a, c) = \frac{1}{1+\exp[-a(x-c)]} \qquad (3-54)$$

حيث : a : تتحكم بميل المنحني .

c : مركز تابع الانتماء (مكان القمة) .

و يُبين الشكل (3-15) تابع انتماء السيغمويد :



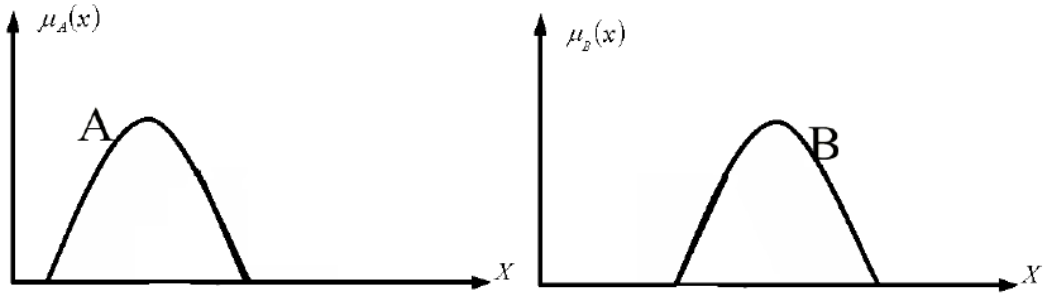
الشكل (3-15) تابع انتماء السيغمويد[18]

تُعتبر توابع الانتماء المثلثية وتوابع الانتماء شبه المنحرف التوابع الأكثر استخداماً في المنطق العائم، وأما بالنسبة لاختيار تابع الانتماء فلم يتم إيجاد صيغة أساسية لاختيار نوع تابع الانتماء، ويتم اختيار تابع الانتماء وفق موضوع البحث وتطبيقاته. [18]

3-3-2-العمليات على المجموعات العائمة Operations on fuzzy sets:

كما ذكرنا سابقاً يُعتبر مفهوم المجموعة العائمة تعميماً لمفهوم المجموعة العادية، ووفقاً لذلك يُمكن تطبيق العمليات المستخدمة في المجموعة العادية على المجموعة العائمة مع الأخذ بعين الاعتبار أن المجموعة العائمة تتحدد بتابع انتمائها، لذلك فإن هذه العمليات ستُطبق على توابع الانتماء، بالاستعانة بالعلاقة الموجودة بين التابع الخاص لمجموعة عادية وتابع الانتماء للمجموعة العائمة، يمكن أن نُعرِّف أهم العمليات على المجموعة العائمة كالتالي:

لنفترض لدينا مجموعتان عائمتان A، B كما في الشكل (3-16) :



الشكل (3−16) مجموعتان عائمتان

وتُمَثّل المجموعتان A ,B بالعلاقتين التاليتين :

$$A = \{ (x, \mu_A(x)) : x \in X \} \qquad (3-55)$$

$$B = \{ (x, \mu_B(x)) : x \in X \} \qquad (3-56)$$

فالعمليات الأساسية التي تُطبَّق على هاتين المجموعتين هي:

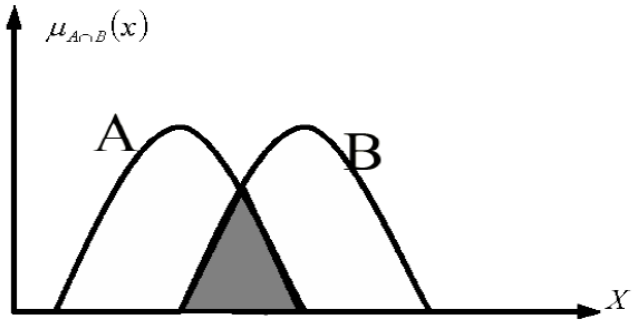
عملية التقاطع Intersection Operation :

إن تقاطع المجموعتين العائمتين (A ∩ B) هو مجموعة عائمة تابع انتمائها يُحدد بالعلاقة (3−57):

$$A \cap B = \{ (x, \mu_{A \cap B}(x)) : x \in X \}$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \{ \min\{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} : x \in X \} \qquad (3-57)$$

و نُعبر عن التقاطع بلغة المنطق العائم بالعامل AND وتجدر الإشارة هنا أن العامل AND يمكن تفسيره بطرق مختلفة وليس فقط بطريقة min من هذه الطرق طريقة product، الشكل (3−17) يُبيّن تقاطع مجموعتين عائمتين:



الشكل(3−17) التقاطع العائم [18]

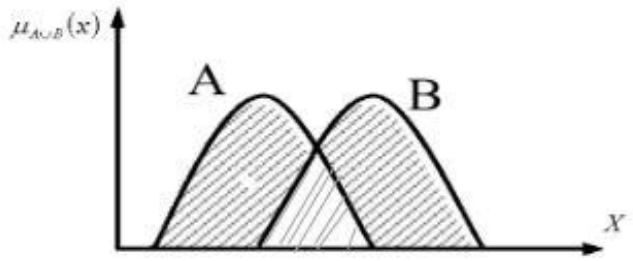
عملية الاجتماع Union Operation :

إن اجتماع المجموعتين العائمتين (A U B) هو مجموعة عائمة تابع انتمائها يُحدد بالعلاقة (3−58) :

$$A \cup B = \{(x, \mu_{A \cup B}(x)) : x \in X\}$$

$$\mu_{A \cup B}(x) = \{\max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} : x \in X\} \qquad (3-58)$$

ونُعبر عن الاجتماع بلغة المنطق العائم بالعامل OR الذي يمكن تفسيره أيضاً بطريقة sum وليس فقط بطريقة max ، والشكل (3−18) يُبيّن اجتماع مجموعتين عائمتين :



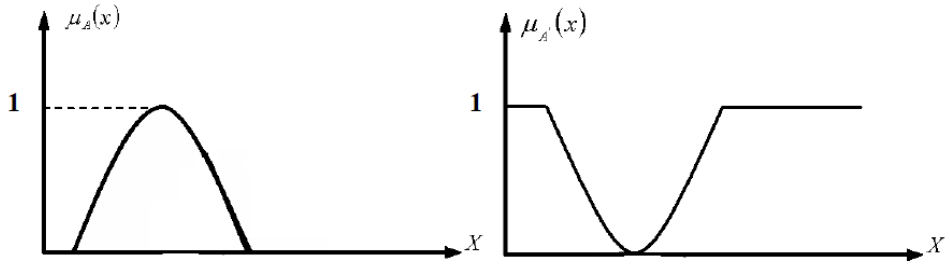
الشكل (3−18) الاجتماع العائم

متمم المجموعة العائمة fuzzy set Complement :

متمم المجموعة العائمة A هو مجموعة عائمة $\grave{A}$ ويعرف تابع انتمائها كما يلي :

$$\mu_{\grave{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad : x \in X \qquad (3-59)$$

والشكل (3−19) يوضح المجموعة العائمة A ومتمم هذه المجموعة $\grave{A}$:



الشكل(3−19) المتمم العائم

التساوي Equality :

تتساوى المجموعتان العائمتان A، B إذا تساوى تابعا الانتماء لهما :

$$A = B \quad if \quad \mu_A(x) = \mu_B(x) \quad : \forall x \in X \qquad (3-60)$$

الاحتواء Subsets :

نقول عن مجموعة A أنها محتواة في مجموعة أخرى B إذا كانت درجة انتماء أي عنصر x للمجموعة A أصغر من درجة انتمائه للمجموعة B .

$$A \subseteq B \quad \text{if } \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad :\forall\ x\ \in X \qquad (3-61)$$

3-3-3-القواعد العائمة Fuzzy rules :

إن العلاقات العائمة التي تتكون بين مجموعتين عائمتين على الأقل تمكننا من فهم المشكلة المطروحة وصياغتها فمثلاً لوصف نظام تحكم ما يجب أولاً تحديد كيفية اعتماد خرج هذا النظام على دخله , وهذا ما يُدعى بالقواعد العائمة فهي منهج تمثيل المعرفة التي تصدر عن نظم خبيرة أو عن خبراء إنسانيين ، تكون هذه القواعد وفق صيغة IF – THEN وتتكون القاعدة العائمة من جزأين , يُطلق على الجزء الأول الشرط if (condition) والجزء الثاني نتيجة الشرط then (result) ويصف النتيجة التي يمكن استخلاصها إذا تحقق الشرط السابق , وبالتالي تأخذ القواعد الصيغة التالية:

If (condition) THEN (result)

If C then R

مثال على ذلك قاعدة بسيطة: إذا كان (دخل الإنسان السنوي عالياً) فإنه يكون (غنياً)

IF (the annual income of a person is HIGH) THEN (the person is RICH)

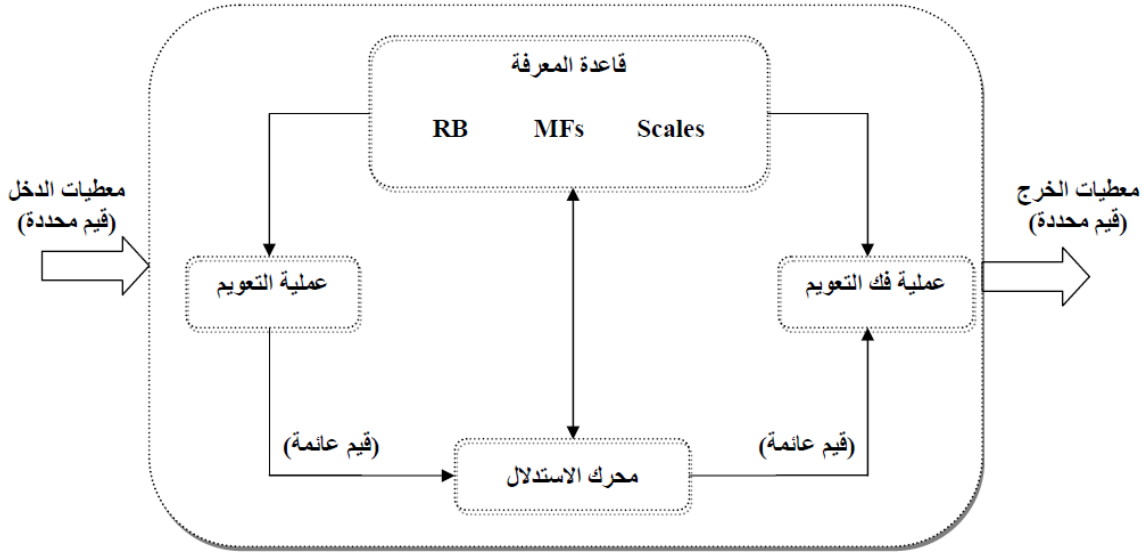
واضح أن كلمة دخل عال هي صفة عائمة غير محددة بدقة، وقد تكون القاعدة مركبة مثل:

إذا (كانت درجة الحرارة متوسطة) و (درجة الرطوبة منخفضة) إذن (يعتبر الطقس معتدلاً).

3-3-4- بنية نظام الاستدلال العائم Fuzzy inference system structure :

يتألف نظام الاستدلال العائم عموماً من أربعة عناصر رئيسية مبينة في الشكل (3−20) وهي:

- التعويم fuzzification
- قاعدة المعرفة knowledge base
- محرك الاستدلال inference engine
- فك التعويم defuzzification



الشكل (3-20) مكونات نظام الاستدلال العائم

3-3-3-1- عملية التعويم: Fuzzification

إن عملية الترميز العائم هي العملية التي تقوم بتحويل معطيات إشارات الدخل من قيم حقيقية (crisp values) إلى قيم عائمة (fuzzy values) والتي يتعامل معها المنطق العائم وذلك باستخدام تعابير لفظية خاصة بكل متحول وتمثل هذه التعابير مجموعات عائمة يتم تحديد عددها وتابع الانتماء لكل منها من قبل الخبير , وتختلف المتغيرات اللغوية بحسب النظام المتحكم به وهذا ما يعطي التحكم العائم صفة المرونة والسهولة في التعامل .

وبالعودة إلى المثال المذكور سابقاً في الشكل (3-1) تم استخدام ثلاث مجموعات عائمة للتعبير عن درجات الحرارة (وهي ساخنة , معتدلة , باردة) , ولتحويل القيمة الحقيقية لدرجة الحرارة 15 درجة مئوية إلى قيمة عائمة فإننا نأخذ درجة انتماء هذه القيمة لكل من المجموعات العائمة السابقة , وتوصلنا إلى أن هذه الدرجة من الحرارة باردة بدرجة 0.7 و معتدلة بدرجة 0.3 .

3-3-3-2- قاعدة المعرفة knowledge base

وتتضمن قاعدة المعرفة كلاً من:

قاعدة المعطيات Data Base :

هي التي تؤمن المعلومات الضرورية لإنجاز كل من وحدة التعويم وفك التعويم والقواعد Rule Base عملها بأفضل شكل ، وهذه المعلومات هي المتغيرات اللغوية التي يُعبّر عنها بتوابع الانتماء لدخل وخرج المتحكم العائم , وكذلك نوع توابع الانتماء المستخدمة .

أساس القواعد Rule Base :

وظيفتها الأساسية تمثيل المعرفة الخبيرة، و تُعدّ القواعد العائمة جوهر أنظمة التحكم العائمة، و هي العلاقة التي تحكم بين إشارات دخل المتحكم العائم و إشارات خرج المتحكم، بشكل قواعد if– then :

If X is A then Y is B

حيث : A,B : متغيرات لغوية يُعبّر عنها بمجموعات عائمة .

X,Y : يعبران عن الدخل والخرج للمتحكم العائم .

3-3-3-3- محرك الاستدلال inference engine:

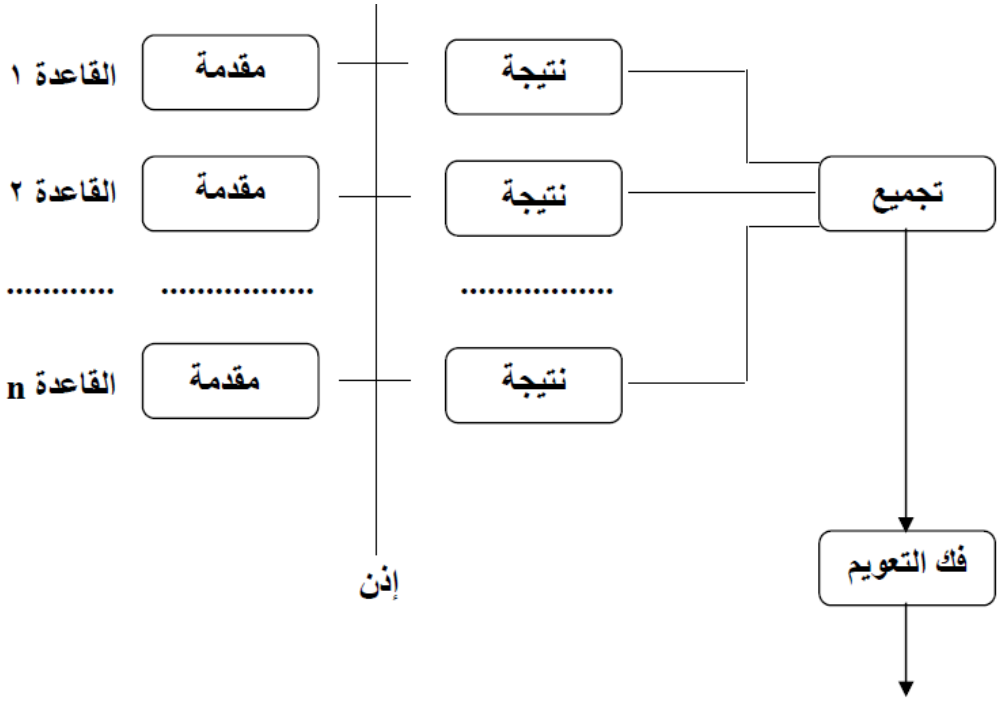
يعرف الاستدلال عموماً بأنه عملية استخراج نتيجة أو قرار ما بالاعتماد على معلومات أو حقائق معروفة مسبقاً ، أما الاستدلال العائم فهو العملية الكاملة لاتخاذ القرارات باستخدام المنطق العائم بأسلوب مشابه للاستدلال البشري حيث يحتوي محرك الاستدلال على مجموعة من العلاقات المنطقية و التي تشبه أحياناً طريقة التفكير التي يستخدمها الإنسان , ويعتمد محرك الاستدلال على قاعدة المعرفة لاستخلاص النتائج منها حيث يقوم بتنشيط القواعد المناسبة وحساب درجات التحقق لكل شرط من شروط القواعد المستنتجة حيث تُحدد درجة تحقق جزء الشرط باستخدام (min أو product) في حال ربط مقدمات القواعد مع بعضها ب AND , واستخدام (max أو sum) إذا كانت المقدمات مربوطة مع بعضها ب OR , وبعد ذلك يتم تحديد نتيجة القاعدة النهائية باستخدام min أو product التي تقابل ال then , وأخيراً تتم عملية التجميع التي هي مراكمة للنتائج النشطة باستخدام max , فمن أجل دخل معين للنظام العائم يمكن استخدام عدد من القواعد العائمة للحصول على الخرج النهائي للنظام , كما هو مُبيّن في الشكل (3-12) .

وبالتالي يُعطى تابع الانتماء النهائي المستنتج من مجموعة قواعد عائمة على شكل تجمع عدد من توابع الانتماء المستخدمة في عملية الاستدلال أي:

$$\mu_A(x) = \cup_{i=1}^{n} \mu_{A_i}(x) \qquad (3-62)$$

حيث : n : عدد توابع الانتماء .

i : ترتيب توابع الانتماء .



الشكل (3-21) مجموعة من القواعد المجمعة للحصول على الخرج النهائي

3-3-3-4- فك التعويم defuzzification

عملية فك الترميز العائم هي عملية التحويل الثانية في المتحكم العائم التي تقوم بتحويل إشارة الخرج العائمة (fuzzy output) والتي هي إشارة خرج محرك الاستدلال العائم إلى إشارة خرج حقيقية (crisp output) وهي إشارة تحكمية تدخل المنظومة المراد التحكم بها، ويتم فك التعويم بعدة طرق:

طريقة مركز الثقل (center of gravity method) :

تُعتبر هذه الطريقة من أكثر الطرق المستخدمة لفك التعويم دقةً وانتشاراً، وتُعطى قيمة الخرج الحقيقي بالعلاقة (3-63) :

$$x^* = \frac{\int_X x \cdot \mu_A(x)dx}{\int_X \mu_A(x)dx} \qquad (3-63)$$

حيث:

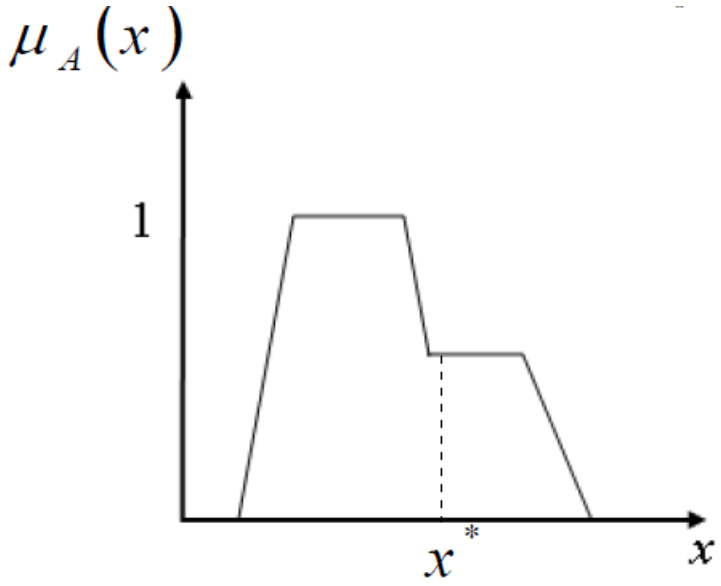
x^* : ناتج عملية فك التعويم (قيمة الخرج الرقمية).

x : متغير الخرج.

$\mu_A(x)$: تابع انتماء الخرج الناتج.

X : المجموعة الشاملة لقيم المتغير x .

ويُعبر عن هذه الطريقة بالشكل (3−22) :



الشكل (3−22) طريقة مركز الثقل لفك التعويم

طريقة المركز الوسطي (center average method):

تعتمد هذه الطريقة على حساب المركز الوسطي لقيم إشارات الخرج عن طريق المراكز الهندسية لتوابع انتماء الخرج ويعبر عنها رياضياً بالعلاقة (3−64):

$$x^* = \frac{\sum_{l=1}^{M} x^l . w^l}{\sum_{l=1}^{M} w^l} \qquad (3-64)$$

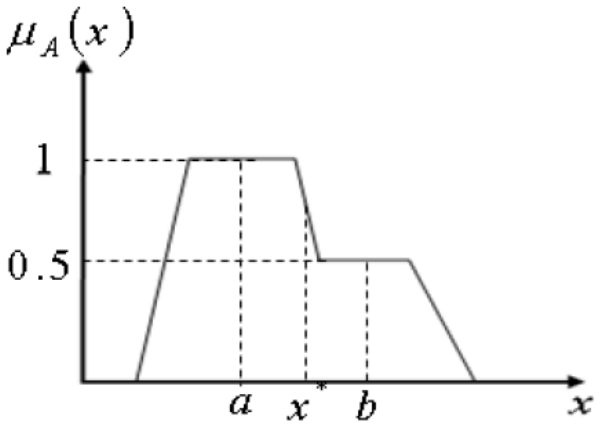
M : عدد المجموعات العائمة

l : رقم المجموعة العائمة.

x^l : مركز المجموعة العائمة.

w^l : ارتفاع المجموعة العائمة.

وتستخدم هذه الطريقة عندما تكون توابع الانتماء متماثلة، ولا يمكن استخدامها للتوابع غير المتماثلة، ويُبيّن الشكل (3−23) طريقة المركز الوسطي حيث a، bمراكز المجموعتين العائمتين، و 0.5 , 1ارتفاع كل من المجموعتين العائمتين.



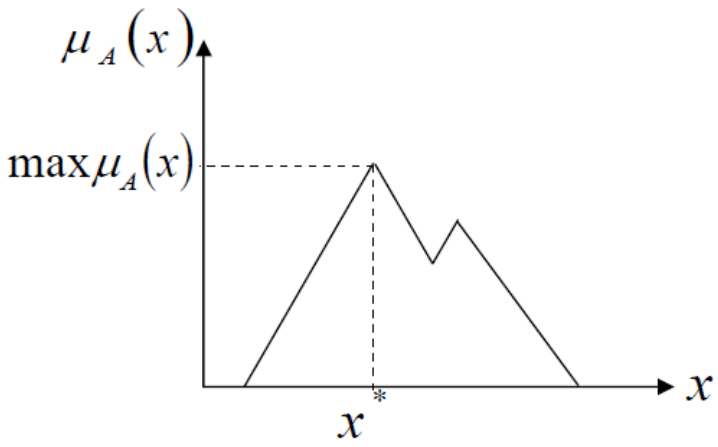
الشكل (3−23) طريقة المركز الوسطي

طريقة القيمة العظمى (maximum method) :

تُعطى هذه الطريقة قيمة الخرج الموافقة لأعظم قيمة تابع انتماء في الخرج $\mu_A(x)$, ويعبر عنها بالعلاقة (3−65):

$$\{x^* \in X : \mu_A(x^*) = \max \mu_A(x)\} \qquad (3-65)$$

والشكل (3−24) يُبيّن هذه الطريقة:



الشكل (3-24) طريقة القيمة العظمى[19]

وعند وجود مجموعة قيم لها نفس القيمة العظمى مثل حالة تابع الانتماء الذي له شكل شبه منحرف عندها نختار قيمة عظمى واحدة من هذه القيم وفق إحدى الطرق التالية:

طريقة القيمة العظمى الأكبر (largest of maximum) :

وفي هذه الطريقة نأخذ أكبر قيمة من القيم العظمى:

b = max { hgt (A) }

طريقة القيمة العظمى الأصغر (smallest of maximum) :

نختار في هذه الطريقة أصغر قيمة من القيم العظمى:

a = min { hgt (A) }

طريقة متوسط القيمة العظمى (mean of maximum) :

وهنا نحسب المتوسط الحسابي لمجموعة هذه القيم وفق العلاقة:

$$x^* = \frac{a+b}{2} \qquad (3-66)$$

3-3-4- أنواع أنظمة الاستدلال العائمة:

بحسب صياغة القواعد العائمة تقسم أنظمة التحكم إلى نوعين (بسبب اختلاف عملية الاستدلال باختلاف صيغة هذه القواعد):

3-3-4-1-نموذج ممداني Mamdani :

قدَّم هذه النموذج العالم إبراهيم ممداني في عام 1975 في أثناء محاولته التحكم في محرك ومرجل بخاري من خلال تأليف مجموعة من قواعد التحكم اللغوية بالاعتماد على تراكم التجارب والخبرات البشرية في هذا المجال.

ويتكون هذا النموذج من قواعد ذات شروط ونتائج رمزية، وتبين المعادلة(3-67) الشكل العام للقاعدة العائمة:

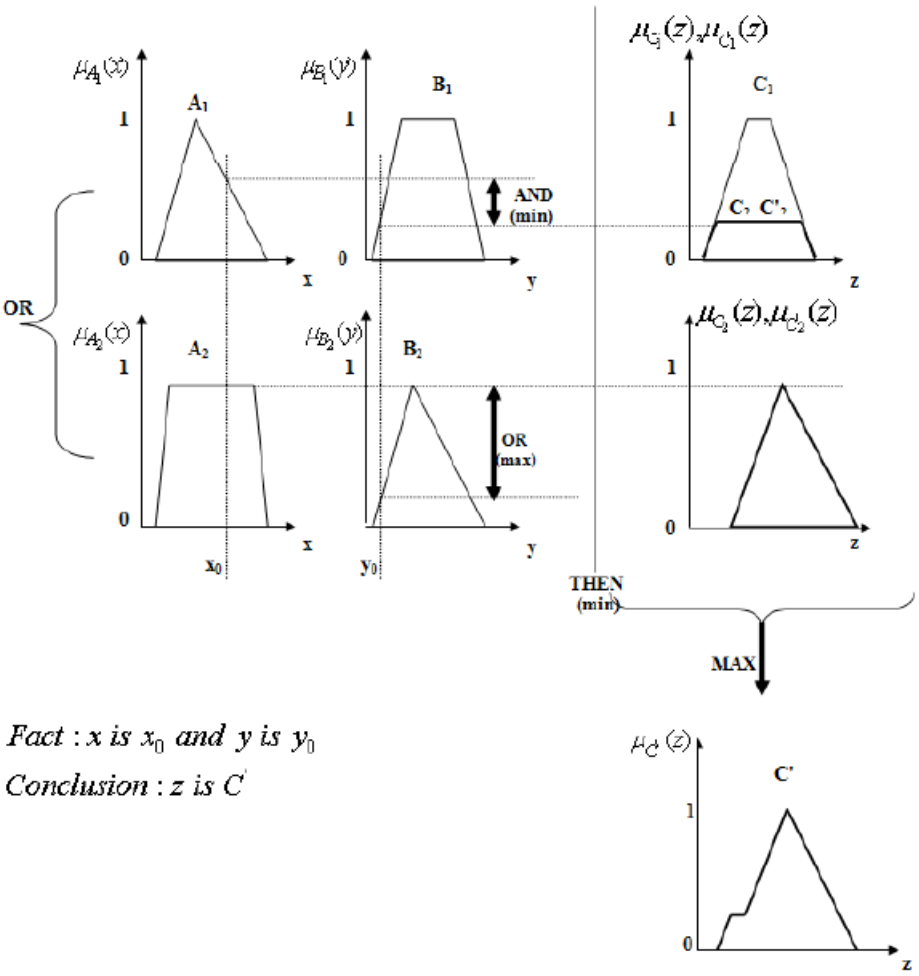
IF (x is A) AND (y is B) THEN (z is C) (3-67)

حيث:

A,B,C : مجموعات عائمة .

x,y,z : متغيرات لغوية .

ويُبيّن الشكل (3-25) عملية الاستدلال العائم باستخدام نموذج ممداني:



الشكل (3-25) نموذج ممداني للاستدلال العائم

3-3-4-2-نموذج تاكاجي سوجينو Takagi-Sugeno

هو أحد أنواع الأنظمة العائمة التابعية التي يكون شكل القاعدة فيها كما يلي:

IF (x_1 is A) AND (x_2 is B)..... AND(x_n is C) THEN $z = g(x)$ $(3-68)$

حيث g(x) تابع معين نستخدمه حسب التطبيق، ومن هنا جاء اسم الأنظمة العائمة التابعية، ويمكن للتابع g(x) أن يأخذ أي شكل من أشكال التوابع كما ويمكن أن يختلف التابع بين قاعدة وأخرى، فمثلاً يمكن أن يأخذ الصيغة التالية:

$$z = g(x) = a_0 + a_1 (x_1)^2 + \ldots\ldots\ldots + a_n (x_n)^2 \qquad (3-69)$$

أو الصيغة:

$$z = g(x) = \exp[\, a_1 \sin(x_1)^2 \; + \; \ldots\ldots\ldots + a_n \sin(x_n)^2 \qquad (3-70)$$

وعندما يكون التابع g(x) خطياً فإنها تعتبر حالة خاصة من حالات الأنظمة العائمة التابعية ، و قد قام كل من تاكاجي و سوجينو بتطوير هذه الطريقة التي تأخذ القاعدة العائمة فيها الصيغة العامة المبينة في المعادلة(3-71) :

IF (x_1 is A) AND (x_2 is B)….. AND(x_n is C) THEN

(Z = c_0 + $c_1 x_1$ +…..+$c_n x_n$) (3-71)

A,B,C : مجموعات عائمة .

Z: خرج النظام من أجل قاعدة ما.

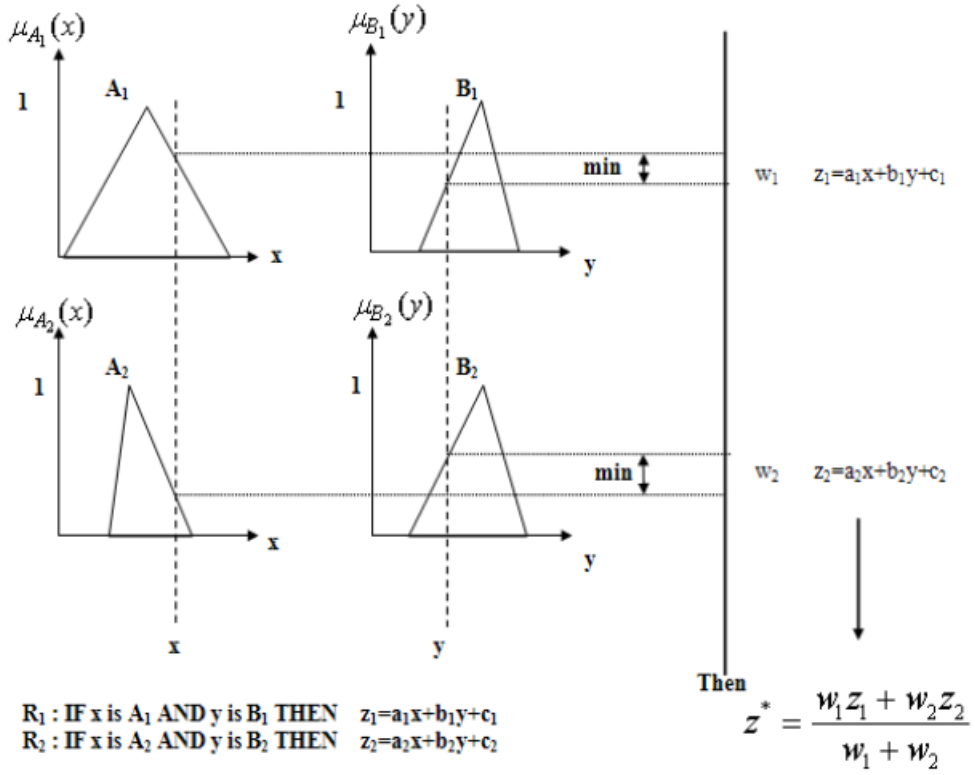
c_i : بارامترات ذات قيم حقيقية .

وتُعطى النتيجة النهائية للاستدلال العائم وفق هذا النموذج بالعلاقة (3-70):

$$z^* = \frac{\sum_{l=1}^{m} W_l Z_l}{\sum_{l=1}^{m} W_l} \qquad (3-72)$$

حيث : W_l : مستوى الخرج لكل قاعدة عائمة .

ويُبيّن الشكل (3-26) الاستدلال العائم باستخدام نموذج تاكاجي سوكينو:



الشكل (3-26) نموذج تاكاجي سوجينو للاستدلال العائم[20]

مما سبق نجد أن الاختلاف بين النموذجين السابقين يكمن في طريقة الحصول على الخرج الحقيقي فنموذج Mamdani يستخدم توابع انتماء للخرج بينما في نموذج TS لا يوجد توابع انتماء للخرج.

الفصل الرابع

(تصميم المنظم ذاتي التوليف بخوارزميات مختلفة)

4-1- مقدمة:

بعد أن تم التمهيد للأسس النظرية للبحث، سيتم خلال هذا الفصل عرض نتائج تنجيز إحدى الدراسات السابقة وعرض النتائج العملية المرتبطة بتطبيق الخوارزمية الصريحة والضمنية على نظام المفاعل الكيميائي (CSTR) تم تنفيذ الإجراء العملي باستخدام برنامج MATLAB والمكتبات المتوفرة فيما يخص النمذجة.

4-2- تنجيز الدراسة المرجعية[1] :

تم في هذه الدراسة تصميم متحكم أمامي خلفي بطريقة توضع الأقطاب لنظام لاخطي ممثل بمعادلة من الدرجة الثالثة.

$$G_{ol}(Z) = \frac{0.198Z^2 - 0.012Z - 0.0323}{Z^3 - 1.727Z^2 + 1.302Z \pm 0.521} \equiv \frac{B}{A} \qquad (4\text{-}1)$$

تم حساب بارامترات المتحكم باستخدام طريقة توضع الأقطاب حيث نحصل على الاستجابة المرغوبة المحددة بتابع التحويل

$$G_m(Z) = \frac{0.158Z^2 - 0.005Z - 0.0253}{Z^3 - 1.687Z^2 + 1.102Z - 0.2873} \equiv \frac{B_m}{A_m} \qquad (4\text{-}2)$$

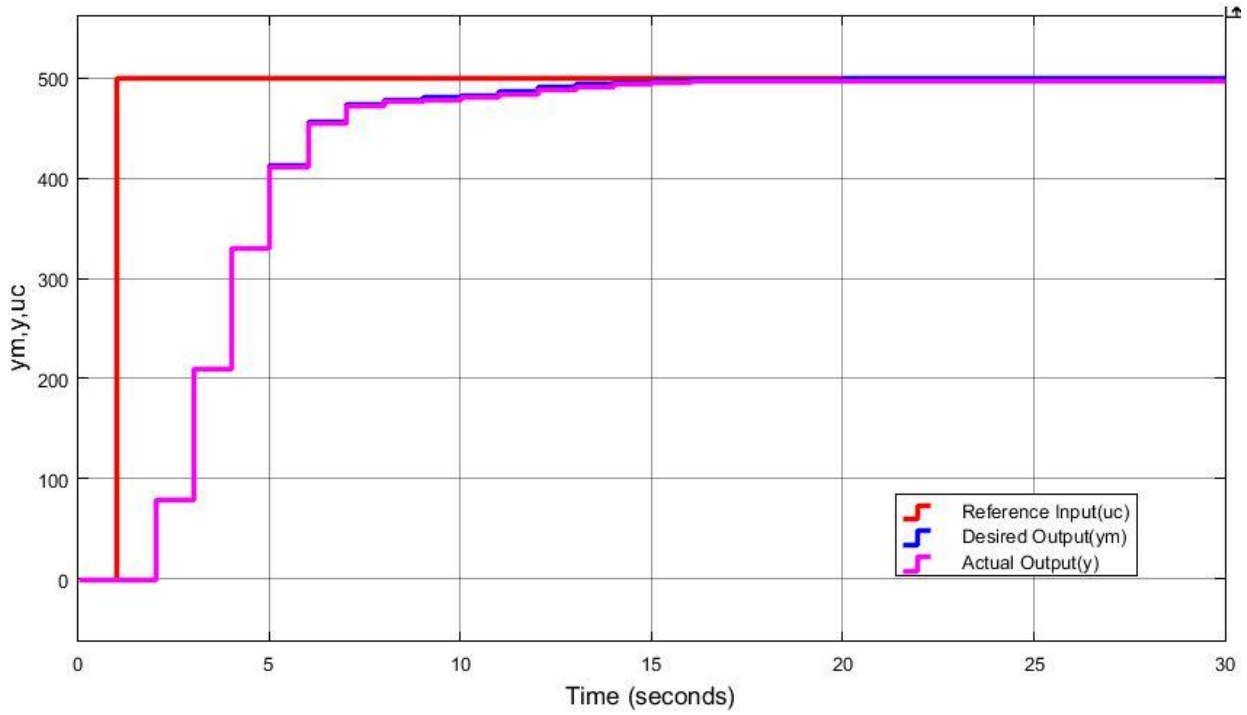
ولنتمكن من حساب بارامترات المتحكم لابد من تحديد نوع الجملة حسب حلول كثير الحدود B (أصفار النظام): (0.4353;−0.3747) وبما أن الأصفار مستقرة (داخل الدائرة الواحدية) وبالتالي الجملة ذات طور أصغري ومنه نقوم بحساب بارامترات المتحكم من المعادلات (3−22)، (3−23)، (3−24)، (3−25) المذكورة في الفصل الثالث كما تم حساب المعادلة المميزة لنظام الراصد A_0=1 .

يبيّن الجدول (4−1) بارامترات المتحكم STR لاختبار الخوارزمية الصريحة من أجل تابع تحويل المستخدم في الدراسة [1] من الدرجة الثالثة باستخدام المخمن LSE

الجدول(4−1) بارامترات المتحكم STR لاختبار الخوارزمية الصريحة للدراسة المرجعية [1]

parameters	S			T			R		
	s0	s1	s2	t0	t1	t2	r0	r1	r2
	0.04	-0.2	0.2337	0.158	-0.005	0-0.0253	0.198	-0.012	-0.0323

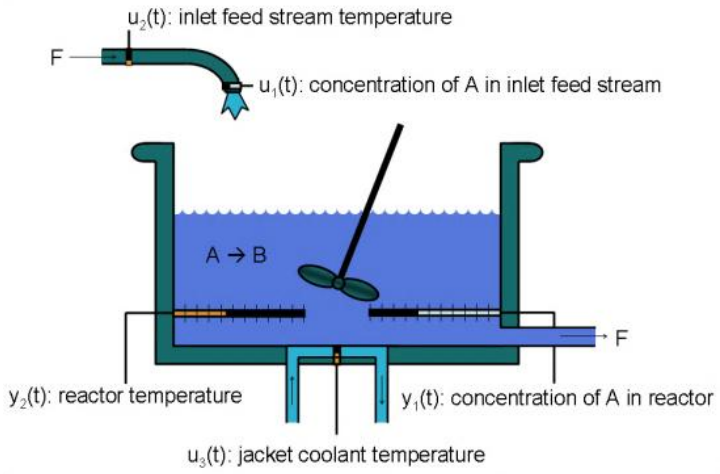
ننتقل لتنفيذ الخوارزمية على تابع التحويل الممثل بالمعادلة (1−4) حيث كانت الاستجابة كما هي موضحة بالشكل (4−1):



الشكل(4-1) استجابة نظام من الدرجة الثالثة باستخدام الخوارزمية الصريحة والمخمن LSE

4-3-النظام المدروس (نظام المفاعل الكيميائي ذي التقليب المستمرCSTR):

يسمح نظام CSTR اللاخطي بإنتاج الطاقة الحرارية أثناء التفاعل مما يؤدي إلى ارتفاع الحرارة بشكل كبير. وذلك يؤثر على التشغيل المناسب للنظام وعلى عمره ومن الممكن أن يسبب خسارة غير متوقعة للمنتج. وبالتالي يجب إيجاد طريقة للتحكم بدرجة حرارة المفاعل المستمر من خلال تبريد مناسب للنظام عن طريق حجرة التبريد [1]. حيث يظهر الشكل (4-2) مداخل ومخارج النظام وهي ثلاثة مداخل ومخرجين [20].



الشكل (4-2) نظام المفاعل الكيميائي ذو التقليب المستمر [20]

الدخل الأول: تركيز المادة A في مجرى التغذية Cf [$\frac{kgmol}{m^3}$] Feed Concentration

الدخل الثاني: درجة حرارة مجرى التغذية Tf [k]Feed Temperature

الدخل الثالث: درجة حرارة حجرة التبريد Tc [k]Jacket coolant temperature

الخرج الأول: تركيز المادة A في المفاعل Cr [$\frac{kgmol}{m^3}$] Residual Concentration

الخرج الثاني: درجة حرارة المفاعل Tr [k]Reactor temperature

تم اختبار الخوارزميات من أجل الدخل الثالث (درجة حرارة حجرة التبريد Tc) والخرج الثاني (درجة حرارة المفاعل Tr) حيث تم فرض القيمة المرغوبة لدرجة حرارة المفاعل [uc=500 K] أما بقية المداخل فتمّ اعتبارها قيم ثابتة Tf=298.2 و Cf=10 [20].

4-4- تصميم المنظم ذاتي التوليف لنظام المفاعل الكيميائي ذي التقليب المستمر بخوارزميات مختلفة:

تم اعتماد نظام المفاعل الكيميائي لاختبار خوارزمية المنظم ذاتي التوليف بالطريقتين الصريحة والضمنية وتم اقتراح تمثيل لنظام المفاعل الكيميائي بتابع تحويل من الدرجة الثانية وتابع تحويل من الدرجة الثالثة وتم تحديد بارامترات النظام من خلال خوارزمية LSE وخوارزمية RLSE.وتم اقتراح تعديل للخوارزمية الضمنية من خلال المنطق العائم وقد تم اختبار الخوارزمية المقترحة على نظام المفاعل الكيميائي.

4-4-1-خوارزمية المنظم ذاتي التوليف الصريحة (غير المباشرة):

تم اختبار الخوارزمية بأربع حالات:

4-4-1-1-اختبار الخوارزمية الصريحة بحالة نظام المفاعل الكيميائي من الدرجة الثانية والمخمن LSE:

لاختبار الخوارزمية لا بد من تحديد النموذج الرياضي للجملة المدروسة وتخمين بارامتراتها، حيث تم تحديد النموذج الرياضي للجملة المدروسة بتابع تحويل من الدرجة الثانية كما في المعادلة (4-3) :

$$\frac{B}{A} = \frac{b_0 Z + b_1}{Z^2 + a_1 Z + a_2} \qquad (4-3)$$

ثم تم تخمين بارامترات النظام باستخدام المخمن LSE حيث تم تحديد شعاع البارامترات كالتالي:

$\theta = [-a1; -a2; b0; b1]$ (4−4)

ثم حساب قيمة الشعاع من المعادلة (4−3) المذكورة في الفصل الثالث كما يظهر في الجدول (4−2):

الجدول (4−2) بارامترات نظام المفاعل الكيميائي من الدرجة الثانية باستخدام المخمن LSE

parameters	b0	b1	a1	a2
	0.1771	-0.0431	-1.0658	0.2194

بعدما تم تخمين بارامترات الجملة ننتقل لحساب بارامترات المتحكم باستخدام طريقة توضع الأقطاب حيث نحصل على الاستجابة المرغوبة المحددة بتابع التحويل (4−5):

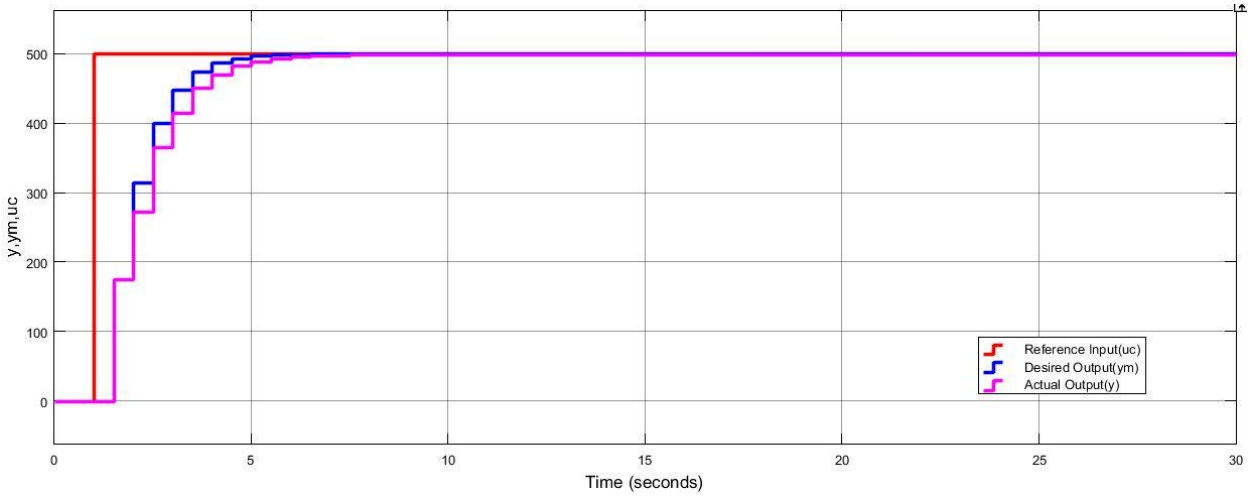
$$\frac{Bm}{Am} = \frac{0.35Z}{Z^2-0.8Z+0.15} \qquad (4-5)$$

ولنتمكن من حساب بارامترات المتحكم لابد من تحديد نوع الجملة حسب حلول كثير الحدود B (أصفار النظام): (0.2434)وبما أن الأصفار مستقرة (داخل الدائرة الواحدية) وبالتالي الجملة ذات طور أصغري ومنه نقوم بحساب بارامترات المتحكم من المعادلات (3−25),(3−24),(3−23),(3−22) المذكورة في الفصل الثالث كما تم حساب المعادلة المميزة لنظام الراصد $A_0=1$.

الجدول (4−3) بارامترات المتحكم STR لاختبار الخوارزمية الصريحة من أجل نظام المفاعل الكيميائي من الدرجة الثانية باستخدام المخمن LSE

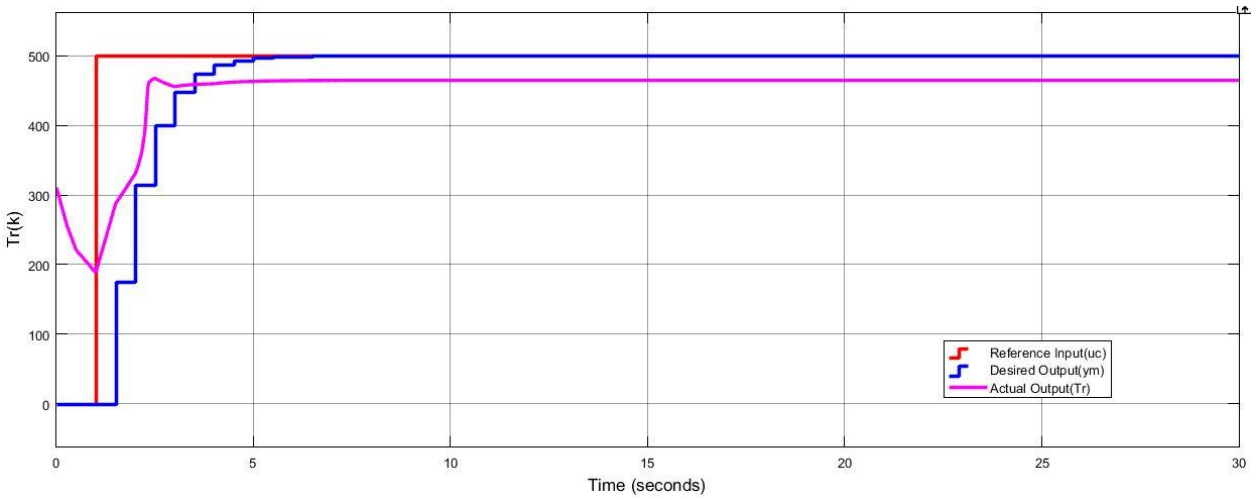
parameters	r0	r1	s0	s1	t0
	0.1771	-0.0431	0.2658	-0.0694	0.35

بعد حساب بارامترات المتحكم ننتقل لتنفيذ الخوارزمية على تابع التحويل (4−3) الذي يمثل النموذج الرياضي لنظام المفاعل الكيميائي حيث كانت الاستجابة كما هي موضحة بالشكل (4−3):



الشكل (4-3) استجابة النموذج الرياضي (تابع تحويل من الدرجة الثانية) لنظام المفاعل الكيميائي باستخدام الخوارزمية الصريحة والمخمن LSE

نلاحظ أن قيم المتحكم STR المذكورة في الجدول (4-3) أعطت نتائج دقيقة عند تطبيقها على النموذج الرياضي لنظام المفاعل الكيميائي كما هو موضح بالشكل (4-3). ثم نعيد تنفيذ الخوارزمية من أجل النموذج الفيزيائي لنظام المفاعل الكيميائي CSTR ونلاحظ وجود خطأ ساكن كما هو موضح بالشكل (4-4) ونعلل ذلك بأن الخوارزمية تعمل بحالة Offline بسبب أن المخمن المستخدم LSE



الشكل (4-4) استجابة نظام المفاعل الكيميائي الممثل بتابع تحويل من الدرجة الثانية باستخدام الخوارزمية الصريحة والمخمن LSE

4-4-1-2-اختبار الخوارزمية الصريحة بحالة نظام المفاعل الكيميائي من الدرجة الثانية والمخمن RLSE:

حددنا بالحالة السابقة النموذج الرياضي للنظام بتابع تحويل من الدرجة الثانية وفرضنا شعاع البارامترات بالمعادلة (4-4) ولحساب قيم شعاع البارامترات باستخدام المخمن RLSE يجب تحديد قيمة ابتدائية للشعاع وفرضناها القيم الناتجة من المخمن LSE كما هو موضح بالجدول (4-2) وتحديد قيمة μ=100 ومصفوفة التباعد p هي مصفوفة حيادية من الدرجة الرابعة وذلك لأن شعاع البارامترات من الدرجة الرابعة كما تم تحديد زمن التقطيع 1Sec وبالتالي يتم تحديث قيم بارامترات النظام كل ثانية حسب خوارزمية RLSE من المعادلات (3-5)،(3-6)، (3-7) المذكورة في الفصل الثالث ونعرض عينة من البارامترات في الجدول(4-4):

الجدول (4-4) عينة من بارامترات نظام المفاعل الكيميائي من الدرجة الثانية باستخدام المخمن RLSE

parameters	a1	a2	b0	b2
Time=0sec	-1.0658	0.2194	0.1771	-0.0431
Time=5sec	-1.31	0.44	0.36	-0.25
Time=10sec	-1.31	0.44	0.3661	-0.256
Time=20sec	-1.35	0.51	0.37	-0.27
Time=30sec	-1.35	0.51	0.37	-0.27

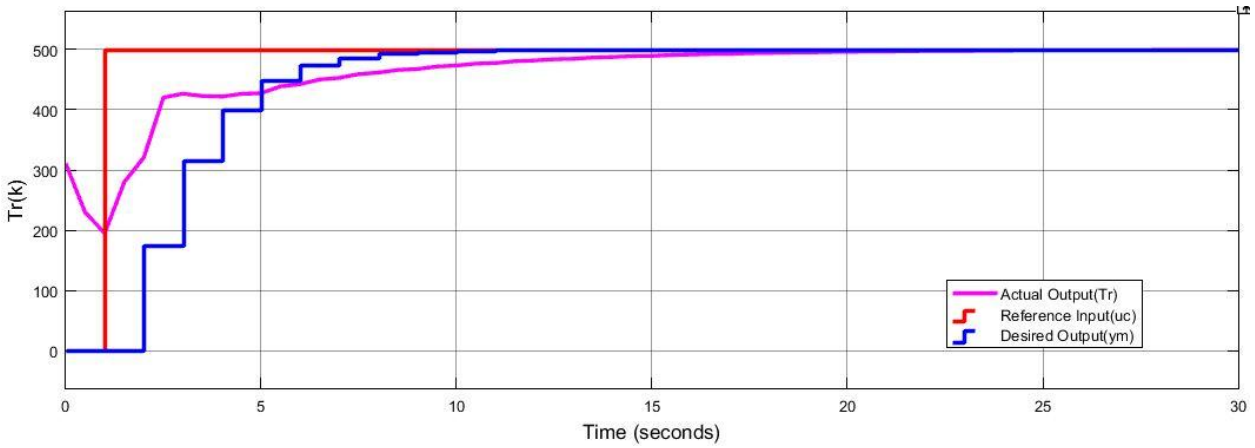
كما يتم تحديث بارامترات المتحكم حسب بارامترات النظام ونعرض عينة من البارامترات في الجدول (4-5):

الجدول (4-5) عينة من بارامترات المتحكم STR لاختبار الخوارزمية الصريحة من أجل نظام المفاعل الكيميائي من الدرجة الثانية باستخدام المخمن RLSE

parameters	s0	s1	r0	r1
Time=0sec	0.2658	-0.06	0.1771	-0.0431
Time=5sec	0.51	-0.29	0.36	-0.25
Time=10sec	0.542435	-0.3464	0.366158104	-0.256523202
Time=20sec	0.55614	-0.3648	0.37957199	-0.276712808
Time=30sec	0.55	-0.36	0.37	-0.27

نلاحظ أنه لا يوجد قيم كثير الحدود T وذلك لأن الجملة ذو طور أصغري كما ذكرنا سابقاً وبهذه الحالة T لا علاقة لها ببارامترات النظام وهي ثابتة لا تتغير كما في المعادلة (3-17).

يظهر الشكل (4-5) استجابة النظام خلال 30Sec :



الشكل (4-5) استجابة نظام المفاعل الكيميائي الممثل بتابع تحويل من الدرجة الثانية باستخدام الخوارزمية الصريحة والمخمن RLSE

نلاحظ استقرار النظام وإلغاء الخطأ الساكن دون الوصول للاستجابة المرغوبة بدقة لذلك ننتقل إلى إعادة الخوارزمية من أجل نموذج رياضي من الدرجة الثالثة لنظام المفاعل الكيميائي.

4-4-1-3-اختبار الخوارزمية الصريحة بحالة نظام المفاعل الكيميائي من الدرجة الثالثة والمخمن LSE:

تم إعادة الخوارزمية من أجل نموذج رياضي من الدرجة الثالثة كما في المعادلة (4-6):

$$\frac{B}{A} = \frac{b_0 Z^2 + b_1 Z + b_2}{Z^3 + a_1 Z^2 + a_2 Z + a_3} \qquad (4\text{-}6)$$

ثم تم تخمين بارامترات النظام باستخدام المخمن LSE حيث تم تحديد شعاع البارامترات كالتالي:

$$\theta = [-a1;\ -a2;\ -a3;\ b0;\ b1;\ b2] \qquad (4\text{-}7)$$

ثم حساب قيمة الشعاع من المعادلة (4-3) المذكورة في الفصل الثالث كما يظهر في الجدول (4-6):

الجدول (4-6) بارامترات نظام المفاعل الكيميائي من الدرجة الثالثة باستخدام المخمن LSE

parameters	b0	b1	b2	a1	a2	a3
	0.3558	-0.0042	0.1052	-0.5613	0.1794	-0.0921

بعدما تم تخمين بارامترات الجملة ننتقل لحساب بارامترات المتحكم باستخدام طريقة توضع الأقطاب حيث نحصل على الاستجابة المرغوبة المحددة بتابع التحويل (4-8):

$$\frac{Bm}{Am} = \frac{0.158Z^2 - 0.005Z - 0.0253}{Z^3 - 1.687Z^2 + 1.102Z - 0.2873} \qquad (4\text{-}8)$$

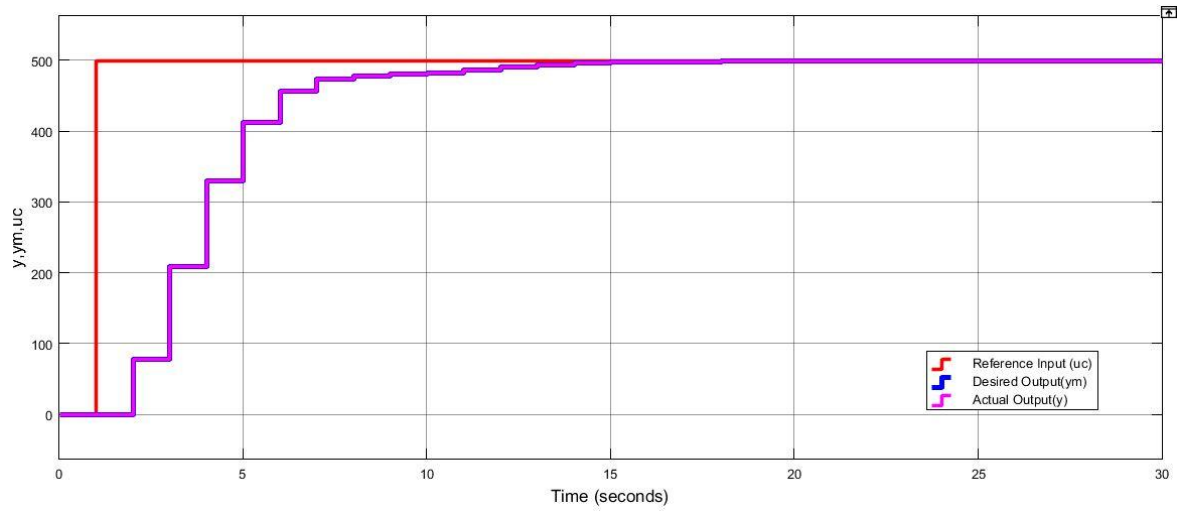
ولنتمكن من حساب بارامترات المتحكم لابد من تحديد نوع الجملة حسب حلول كثير الحدود B (أصفار النظام):

(0.0059 ± 0.5437i) الأصفار مستقرة (داخل الدائرة الواحدية) وبالتالي الجملة ذات طور أصغري ومنه نقوم بحساب بارامترات المتحكم من المعادلات (3-22)،(3-23)،(3-24)،(3-25)المذكورة في الفصل الثالث كما تم حساب المعادلة المميزة لنظام الراصد A_0=1 .

الجدول (4-7) بارامترات المتحكم STR لاختبار الخوارزمية الصريحة من أجل نظام المفاعل الكيميائي من الدرجة الثالثة باستخدام المخمن LSE

parameters	r0	r1	r2	s0	s1	s2	t0	t1	t2
	0.3558	-0.0042	0.1052	-1.1257	0.9226	-0.1952	0.158	-0.005	-0.0253

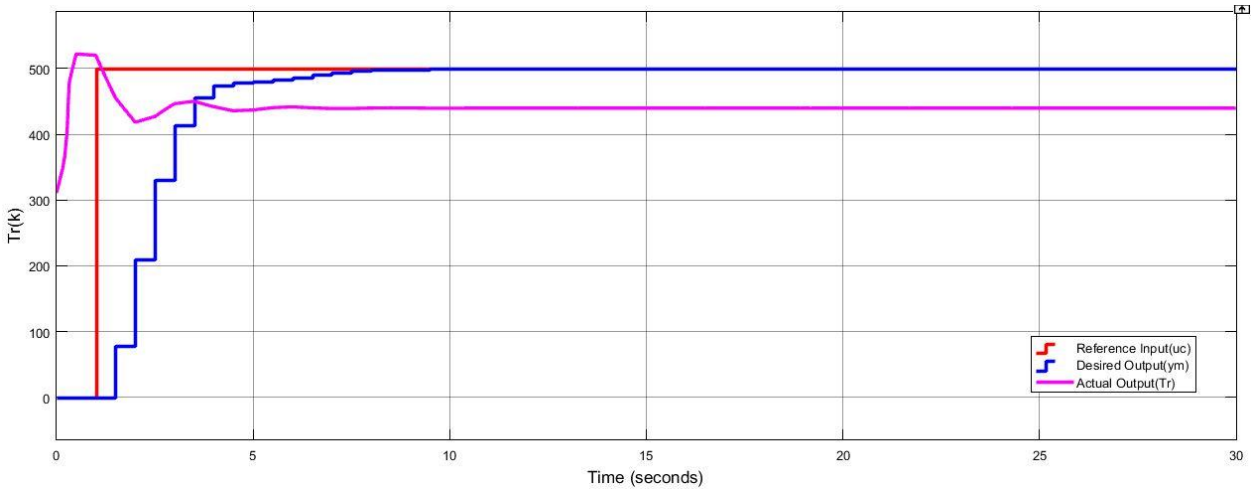
بعد حساب بارامترات المتحكم ننتقل لتنفيذ الخوارزمية على تابع التحويل (4-6) الذي يمثل النموذج الرياضي لنظام المفاعل الكيميائي حيث كانت الاستجابة كما هي موضحة بالشكل (4-6):



الشكل (4-6) استجابة النموذج الرياضي (تابع تحويل من الدرجة الثالثة) لنظام المفاعل الكيميائي باستخدام الخوارزمية الصريحة والمخمن LSE

نلاحظ أن قيم المتحكم STR المذكورة في الجدول (4-7) أعطت نتائج دقيقة عند تطبيقها على النموذج الرياضي لنظام المفاعل الكيميائي كما هو موضح بالشكل (4-6). ثم نعيد تنفيذ الخوارزمية من أجل النموذج الفيزيائي لنظام

المفاعل الكيميائي CSTR ونلاحظ وجود خطأ ساكن كما هو موضح بالشكل (4-7) ونعلل ذلك بأن الخوارزمية تعمل بحالة Offline بسبب أن المخمن المستخدم LSE



الشكل (4-7) استجابة نظام المفاعل الكيميائي الممثل بتابع تحويل من الدرجة الثالثة باستخدام الخوارزمية الصريحة والمخمن LSE

كما نلاحظ من الشكل (4-7) أن استخدام نموذج رياضي من الدرجة الثالثة أدى إلى حصول تجاوز في الاستجابة

4-4-1-4-اختبار الخوارزمية الصريحة بحالة نظام المفاعل الكيميائي من الدرجة الثالثة والمخمن RLSE:

حددنا بالحالة السابقة النموذج الرياضي للنظام بتابع تحويل من الدرجة الثالثة وفرضنا شعاع البارامترات بالمعادلة (4-7) ولحساب قيم شعاع البارامترات باستخدام المخمن RLSE يجب تحديد قيمة ابتدائية للشعاع وفرضناها القيم الناتجة من المخمن LSE كما هو موضح بالجدول (4-6) وتحديد قيمة μ=100 ومصفوفة التباعد p هي مصفوفة حيادية من الدرجة السادسة وذلك لأن شعاع البارامترات من الدرجة السادسة كما تم تحديد زمن التقطيع 0.5Sec وبالتالي يتم تحديث قيم بارامترات النظام كل نصف ثانية من المعادلات (3-5)،(3-6)،(3-7) المذكورة في الفصل الثالث ونعرض عينة من البارامترات في الجدول(4-8):

الجدول (4-8) عينة من بارامترات نظام المفاعل الكيميائي من الدرجة الثالثة باستخدام المخمن RLSE

parameters	a1	a2	a3	b0	b2	b3
Time=0sec	-0.5565	0.1754	-0.0911	0.3565	-0.0036	0.1055
Time=5sec	-0.19	-0.67	0.23	0.46	-0.24	0.05
Time=10sec	-0.777085	-0.093328	0.0375	0.282094	-0.2008	0.038527
Time=20sec	0.561	-2.27	0.91	0.769	-0.52	-0.03
Time=30sec	0.47	-2.15	0.86	0.66	-0.5	-0.03

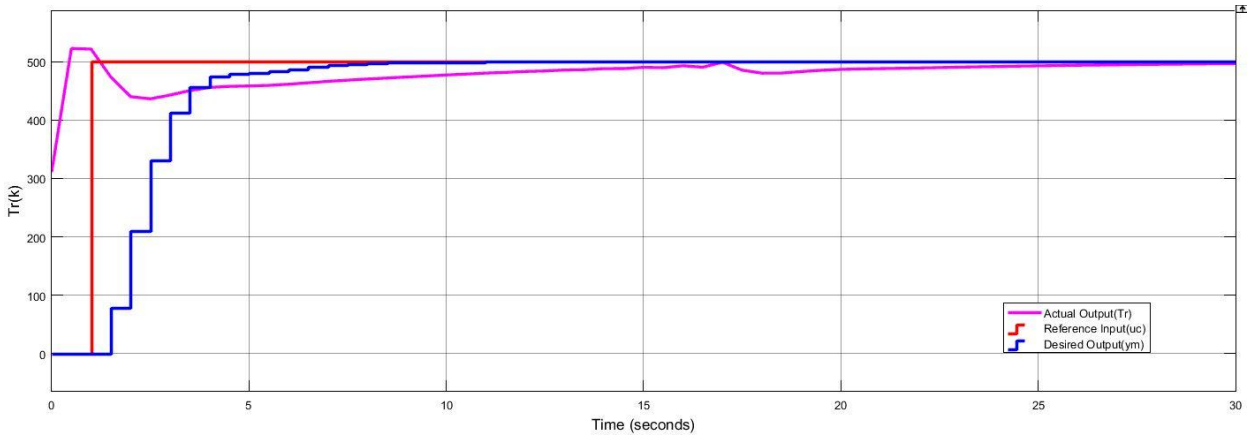
كما يتم تحديث بارامترات المتحكم حسب بارامترات النظام ونعرض عينة من البارامترات في الجدول (4-9):

الجدول (4-9) عينة من بارامترات المتحكم STR لاختبار الخوارزمية الصريحة من أجل نظام المفاعل الكيميائي من الدرجة الثالثة باستخدام المخمن RLSE

parameters	s0	s1	s2	r0	r1	r2
Time=0sec	-1.1305	0.9266	-0.1962	0.3565	-0.0036	0.1055
Time=5sec	-1.49	1.77	-0.517	0.46	-0.24	0.054
Time=10sec	-0.9099	1.1953	-0.32479	0.282094	-0.2008	0.038527
Time=20sec	-2.4505	3.6275	-1.30215	0.7531	-0.55361	-0.02954
Time=30sec	-2.16	3.26	-1.15	0.66	-0.508	-0.0318

نلاحظ أنه لا يوجد قيم كثير الحدود T وذلك لأن الجملة ذو طور أصغري كما ذكرنا سابقاً وبهذه الحالة T لا علاقة لها ببارامترات النظام وهي ثابتة لا تتغير كما في المعادلة (3-17).

يظهر الشكل (4-8) استجابة النظام خلال 30Sec:



الشكل (4-8) استجابة نظام المفاعل الكيميائي الممثل بتابع تحويل من الدرجة الثالثة باستخدام الخوارزمية الصريحة والمخمن RLSE

نلاحظ من الشكل (4−8) استقرار النظام وإلغاء الخطأ الساكن لكن لم نتمكن من إلغاء التجاوز وبالتالي تم تعقيد النموذج الرياضي والعمليات الحسابية للخوارزمية دون الوصول للاستجابة المرغوبة بدقة.

4-4-2-خوارزمية المنظم ذاتي التوليف الضمنية (المباشرة):

ذكرنا سابقاً أن الخوارزمية الضمنية تعتمد على إيجاد بارامترات المتحكم بشكل مباشر من قيم دخل وخرج الجملة دون الحاجة إلى إيجاد بارامترات الجملة، حيث تم اختبار الخوارزمية بثلاث حالات بفرض أن الجملة ذات طور أصغري وقيمة الدرجة النسبية $d_0 = 1$:

4−4−2−1−اختبار الخوارزمية الضمنية بحالة تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية والمخمن RLSE:

تم اختبار الخوارزمية بفرض أن تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية كما هو موضح بالمعادلة (4−5) وبالتالي نحدد شعاع بارامترات المخمن من المعادلة (3−46) كالتالي:

$$\theta = [\, s_0;\ s_1;\ r_0;\ r_1] \qquad (4-9)$$

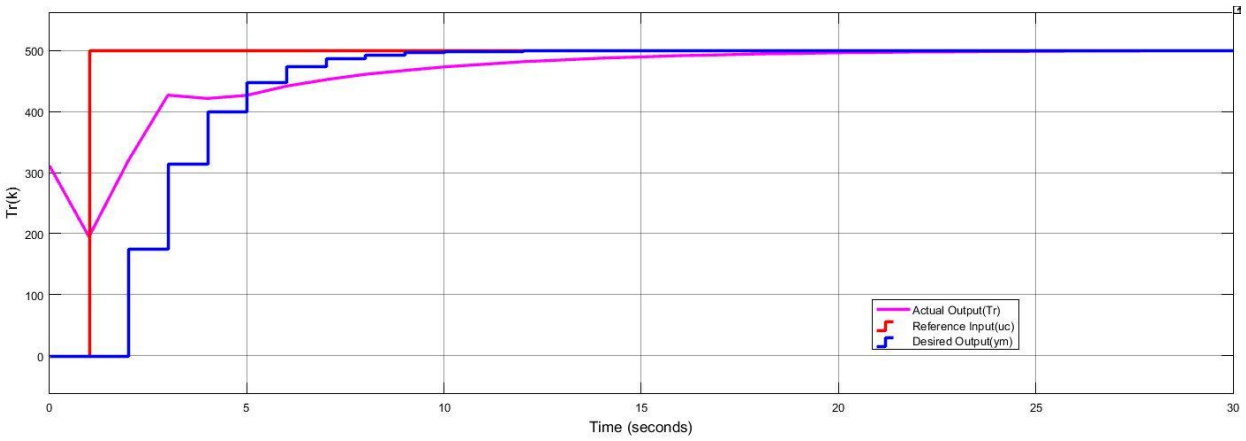
ولحساب قيم شعاع البارامترات باستخدام المخمن RLSE يجب تحديد قيمة ابتدائية للشعاع وفرضناها القيم الناتجة من الخوارزمية الصريحة بحالة نظام المفاعل الكيميائي من الدرجة الثانية والمخمن LSE كما هو موضح بالجدول (4−3) وتحديد قيمة μ=100 ومصفوفة التباعد p هي مصفوفة حيادية من الدرجة الرابعة وذلك لأن شعاع البارامترات من الدرجة الرابعة كما تم تحديد زمن التقطيع 1Sec وبالتالي يتم تحديث قيم بارامترات النظام كل ثانية من المعادلات (3−5)،(3−6)،(3−7) ونعرض عينة من البارامترات في الجدول (4−10):

الجدول (4−10) عينة من بارامترات المتحكم STR لاختبار الخوارزمية الضمنية من أجل نظام تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية باستخدام المخمن RLSE

parameters	s0	s1	r0	r1
Time=0sec	0.2658	-0.06694	0.1771	-0.0431
Time=5sec	0.51	-0.29	0.36	-0.25
Time=10sec	0.5438	-0.34788	0.37871	-0.2695
Time=20sec	0.55	-0.36	0.38	-0.2778
Time=30sec	0.55	-0.36	0.38	-0.27

كما ذكرنا سابقاً تم حساب قيمة T من المعادلة (3-17) وهي ثابتة ليس لها علاقة بقيم دخل وخرج النظام

تم تنفيذ الخوارزمية على نظام المفاعل الكيميائي حيث كانت الاستجابة كما هي موضحة بالشكل (4-10):



الشكل (4-9) استجابة نظام المفاعل الكيميائي باستخدام الخوارزمية الضمنية والمخمن RLSE وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية

نلاحظ من الشكل (4-9) استقرار النظام دون الوصول للاستجابة المرغوبة بدقة.

4-4-2-2-اختبار الخوارزمية الضمنية بحالة تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثالثة والمخمن RLSE:

تم إعادة اختبار الخوارزمية بفرض أن تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثالثة كما هو موضح بالمعادلة (4-8) وبالتالي نحدد شعاع بارامترات المخمن من المعادلة (3-46) كالتالي:

$$\theta = [\, s_0;\ s_1;\ s_2;\ r_0;\ r_1;\ r_2] \qquad (4-10)$$

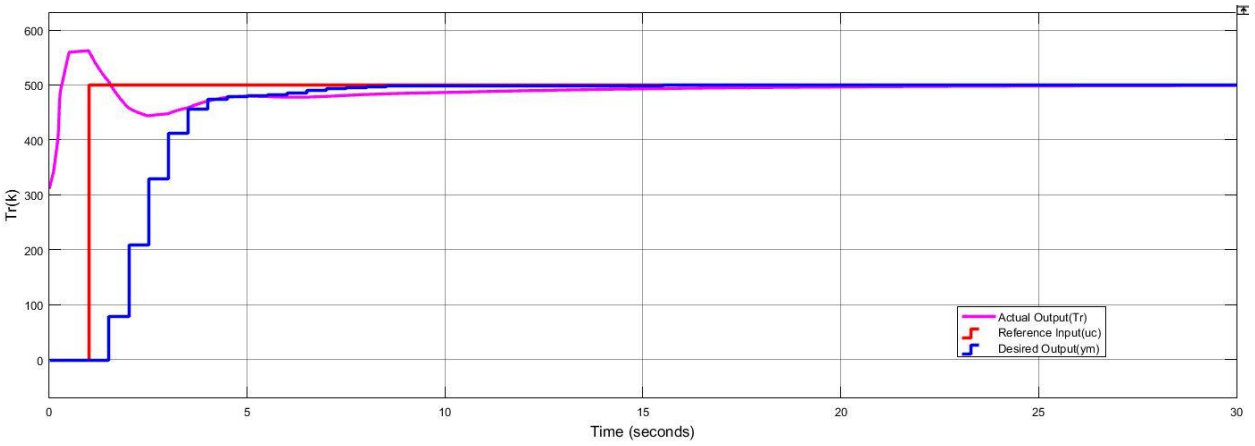
ولحساب قيم شعاع البارامترات باستخدام المخمن RLSE يجب تحديد قيمة ابتدائية للشعاع وفرضناها القيم الناتجة من الخوارزمية الصريحة بحالة نظام المفاعل الكيميائي من الدرجة الثالثة والمخمن LSE كما هو موضح بالجدول (4-7) وتحديد قيمة $\mu=100$ ومصفوفة التباعد p هي مصفوفة حيادية من الدرجة السادسة وذلك لأن شعاع البارامترات من الدرجة السادسة كما تم تحديد زمن التقطيع 0.5Sec وبالتالي يتم تحديث قيم بارامترات النظام كل نصف ثانية من المعادلات (3-5)،(3-6)،(3-7) ونعرض عينة من البارامترات في الجدول (4-11):

الجدول (4-11) عينة من بارامترات المتحكم STR لاختبار الخوارزمية الضمنية من أجل نظام تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثالثة باستخدام المخمن RLSE

parameters	s0	s1	s2	r0	r1	r2
Time=0sec	-1.12	0.9	-0.19	0.3	-0.004	0.105
Time=5sec	-1.55	1.88	-0.51	0.44	-0.24	0.023
Time=10sec	-1.5581	2.076217	-0.63198	0.449682	-0.29455	0.00895
Time=20sec	-1.49	2.07	-0.64	0.43	-0.30	0.002
Time=30sec	-1.47	2.07	-0.64	0.42	-0.31	0.002

تم حساب قيمة T من المعادلة (3-17) وهي ثابتة ليس لها علاقة بقيم دخل وخرج النظام

تم تنفيذ الخوارزمية على نظام المفاعل الكيميائي حيث كانت الاستجابة كما هي موضحة بالشكل (4-10):



الشكل (4-10) استجابة نظام المفاعل الكيميائي باستخدام الخوارزمية الضمنية والمخمن RLSE وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثالثة

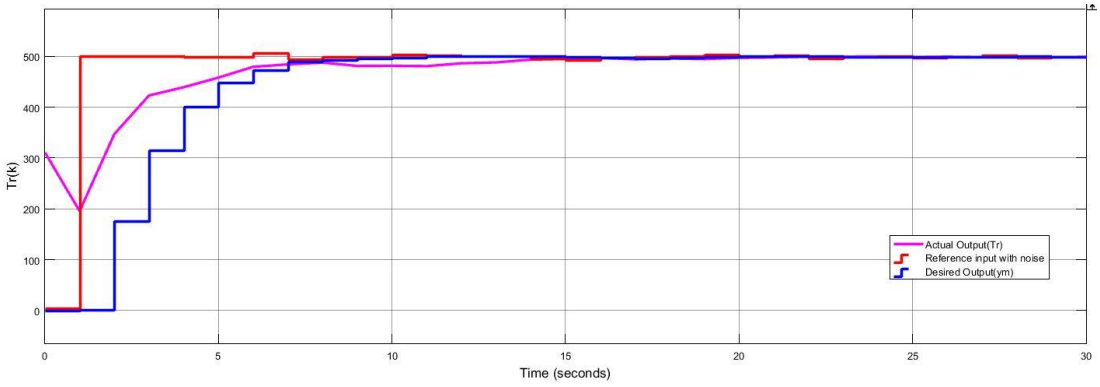
نلاحظ من الشكل (4-10) استقرار النظام مع وجود تجاوز وبالتالي تم تعقيد النموذج الرياضي والعمليات الحسابية للخوارزمية دون الوصول للاستجابة المرغوبة بدقة.

4-4-2-3-اختبار الخوارزمية الضمنية بحالة تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية والمخمن RLSE مع وجود ضجيج:

تم إضافة ضجيج غاوسي للإشارة المرجعية uc لاختبار كفاءة الخوارزمية الضمنية بحالة تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية، حيث تم القيام بالتجربة من أجل قيمتين للتباين:

إضافة ضجيج بتباين قيمته 10:

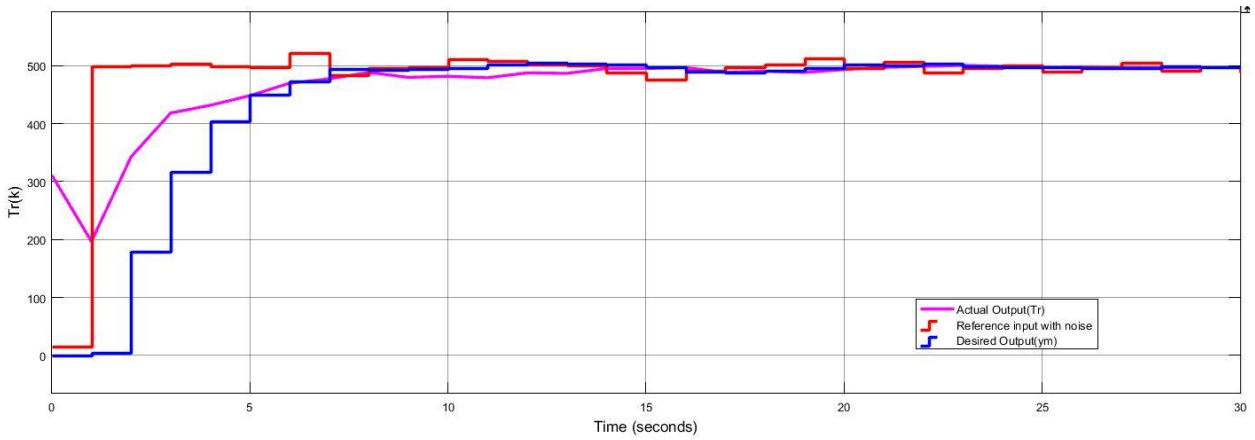
تم إضافة ضجيج غاوسي بتباين قيمته 10على نظام المفاعل الكيميائي حيث كانت الاستجابة كما هي موضحة بالشكل (4-11):



الشكل (4-11) استجابة نظام المفاعل الكيميائي باستخدام الخوارزمية الضمنية والمخمن RLSE وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية بوجود ضجيج قيمته 10

إضافة ضجيج بتباين قيمته 100:

تم إضافة ضجيج غاوسي بتباين قيمته 100على نظام المفاعل الكيميائي (30Sec) حيث كانت الاستجابة كما هي موضحة بالشكل (4-12):



الشكل (4-12) استجابة نظام المفاعل الكيميائي باستخدام الخوارزمية الضمنية والمخمن RLSE وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية بوجود ضجيج قيمته 100

بالمقارنة بين الشكلين (4-11) و (4-12) نلاحظ ملاحقة الخوارزمية للدخل المرجعي للحفاظ على الاستقرار نسبياً لكن بحالة قيمة التباين 100 كان الخطأ أكبر.

الفصل الخامس

المنظم ذاتي التوليف العائم المقترح

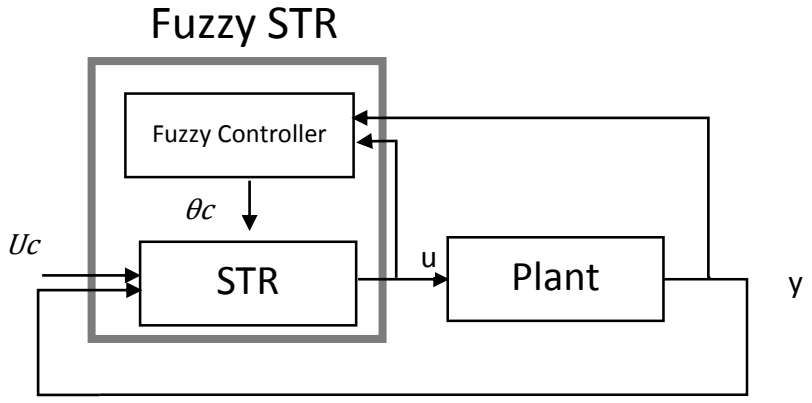
5-1-مقدمة:

بعد أن تم عرض النتائج العملية المرتبطة بتطبيق الخوارزمية الصريحة والضمنية على نظام المفاعل الكيميائي (CSTR)، تم اختيار الخوارزمية الضمنية للتطوير باستخدام المنطق العائم كونها لا تحتاج إلى تمثيل للنظام بنموذج رياضي وبما إن تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثالثة لم يحسّن الاستجابة لذلك سنعتمد على تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية في الخوارزمية المقترحة.

تم في هذا الفصل عرض الخوارزمية المقترحة والتجارب العملية المرتبطة بها والنتائج التي تم الحصول عليها، ومن ثم مقارنة نتائج الخوارزمية الصريحة والضمنية مع الخوارزمية المقترحة، تم تنفيذ الإجراء العملي باستخدام برنامج MATLAB والمكتبات المتوفرة فيما يخص النمذجة والمنطق العائم.

5-2- خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم المقترحة:

تم إعادة صياغة طريقة توضع الأقطاب لتصميم بارامترات كثيرات الحدود في المتحكم الأمامي الخلفي باستخدام المنطق العائم للحصول على أداء أفضل للنظم اللاخطية ودون الحاجة للحسابات الرياضية المعقدة حيث تم حساب بارامترات المتحكم STR من المعادلة (45-3) بطريقة عائمة وقد تم اختبار طريقة التصميم المقترحة من خلال خوارزمية المنظم ذاتي التوليف الضمنية على نظام المفاعل الكيميائي وبفرض أن تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية كما هو موضح بالمعادلة (5-4) ويظهر الشكل (5-1) التطوير المقترح على الخوارزمية الضمنية من خلال المنطق العائم.



الشكل (5-1) المخطط الصندوقي للمنظم ذاتي التوليف العائم

من الشكل (4-13) نستنتج أن مداخل طريقة التصميم العائمة هي دخل وخرج النظام وخرجها هي بارامترات المتحكم الأمامي الخلفي ولكن من خلال التجربة تبين إنه يمكن الاكتفاء بالخرج y كمدخل لطريقة التصميم العائمة.

الشكل (5−2) المخطط الصندوقي للمتحكم العائم

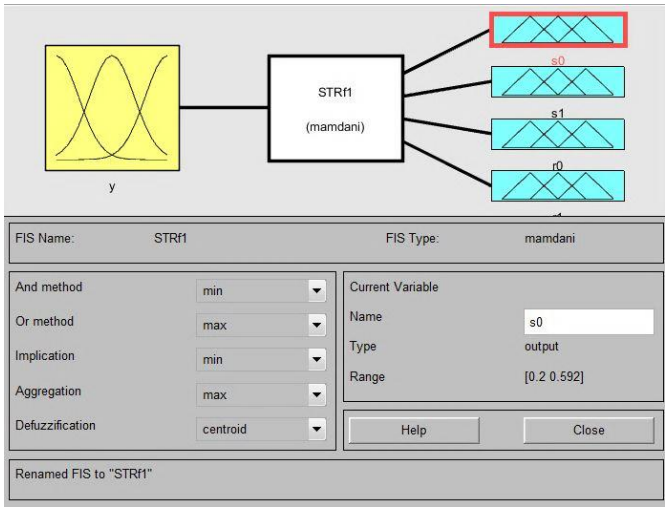
بفرض أن قيمة الدرجة النسبية $d_0 = 1$ والجملة ذو طور أصغري تم حساب درجة كثير الحدود (R,S) من المعادلة (3−38) وهي من الدرجة الأولى

$$S = s_0 + s_1 Z^{-1} \qquad (5-1)$$

$$R = r_0 + r_1 Z^{-1} \qquad (5-2)$$

كما ذكرنا سابقاً تم حساب قيمة T من المعادلة (3−17) وهي ثابتة ليس لها علاقة بقيم دخل وخرج النظام وبالتالي لا تدخل بطريقة التصميم.

من المعادلات (5−1)،(5−2) نستنتج أنه لدينا أربع مخارج للمتحكم العائم ، وتم فرض المتحكم العائم من نوع mamdani كما يظهر في الشكل(5−3):



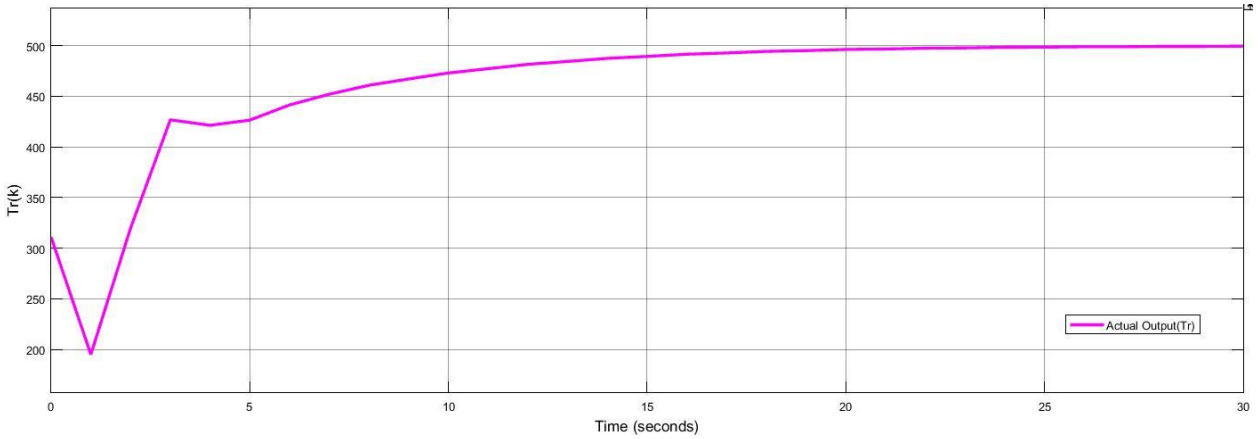
الشكل (5−3) دخل ومخارج المتحكم العائم المقترح

5-2-1- استنتاج مجالات متغيرات الدخل والخرج للمتحكم العائم:

تم استنتاج مجالات متغيرات الدخل والخرج للمتحكم العائم من خلال تنفيذ الخوارزمية الضمنية بحالة تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية والمخمن RLSE واستخراج مجال القيم للمتغيرات المطلوبة.

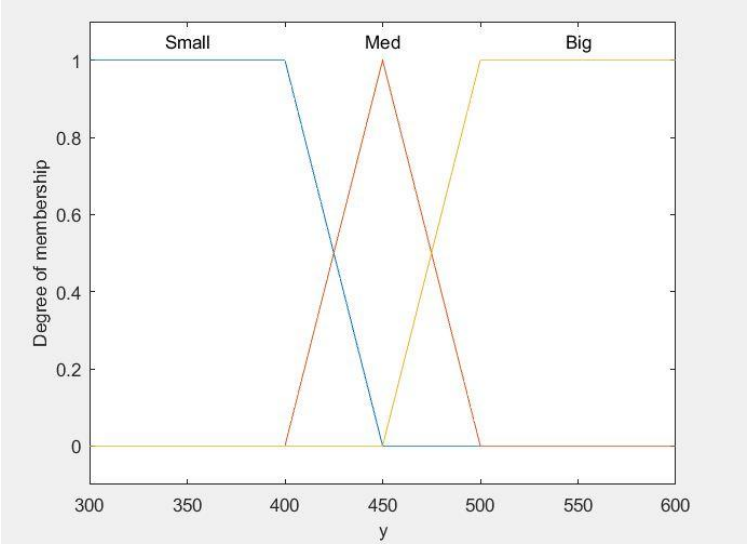
5-2-1-1-استنتاج مجال المتغير y(Tr):

يظهر الشكل (5-4) مجال قيم دخل المتحكم العائم وهو فعلياً خرج نظام المفاعل الكيميائي الذي يمثل درجة حرارة المفاعل الكيميائي Tr ويتراوح بين [300K-600K]



الشكل (5-4) مجال قيم درجة حرارة المفاعل الكيميائي (دخل المتحكم العائم)

بعد تحديد مجال الدخل، تم اقتراح ثلاثة توابع انتماء لهذا المتغير وهي(small,med,big) وتم تحديد بارامترات توابع الانتماء بالتجريب كما هو موضح بالشكل (5-5):



الشكل (5-5) بارامترات توابع انتماء الدخل y

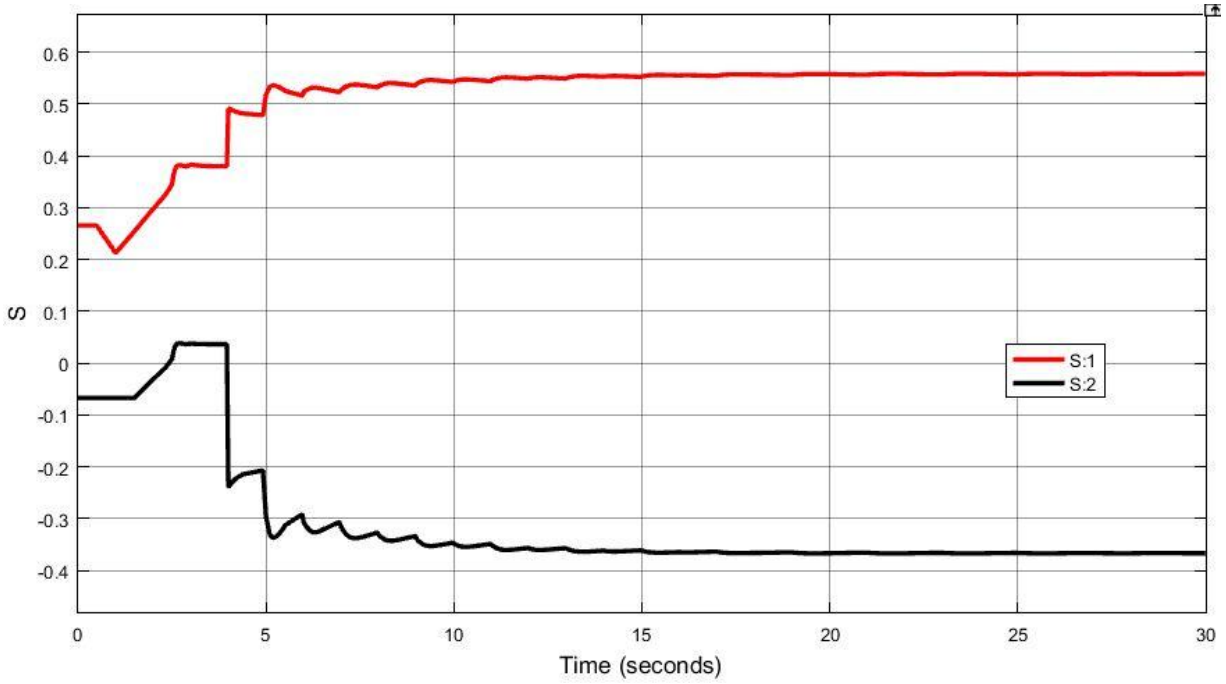
5-2-1-2-استنتاج مجال بارامترات كثير الحدود S:

من المعادلة (1-5) تبين أن كثير الحدود S من الدرجة الأولى وبالتالي هناك بارامترين لكثير الحدود S:(s0,s1)

ويظهر الشكل (5-6) مجال قيم (s0,s1) وهي مخارج للمتحكم العائم حيث:

s0:[0.2,0.59]

S1:[-0.4,0]

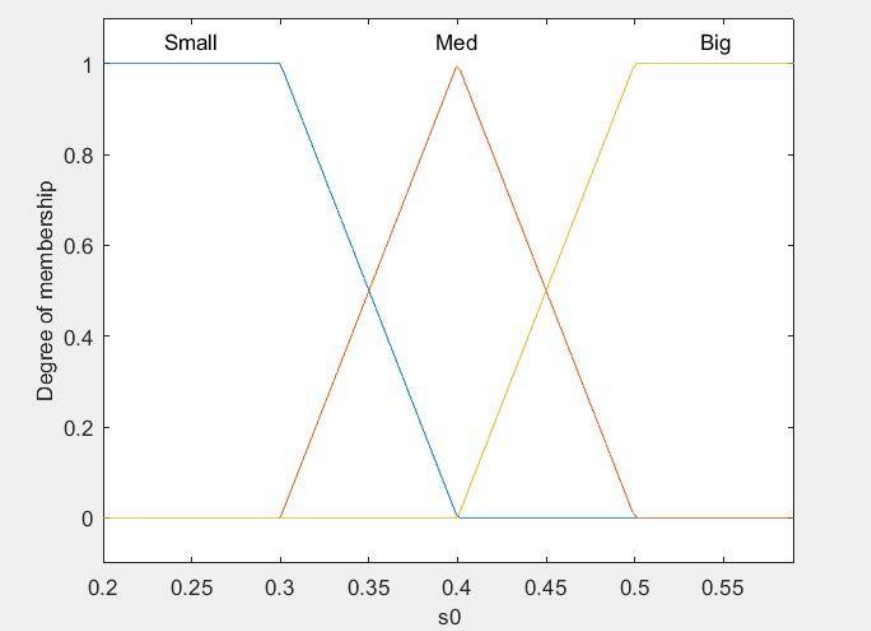


الشكل (5-6) مجال قيم بارامترات كثير الحدود S

بعد تحديد مجال المخارج (s0,s1)، تم اقتراح ثلاثة توابع انتماء لكل متغير وهي(small,med,big) وتم تحديد بارامترات توابع الانتماء بالتجريب كما يلي:

توابع انتماء المتغير s0 :

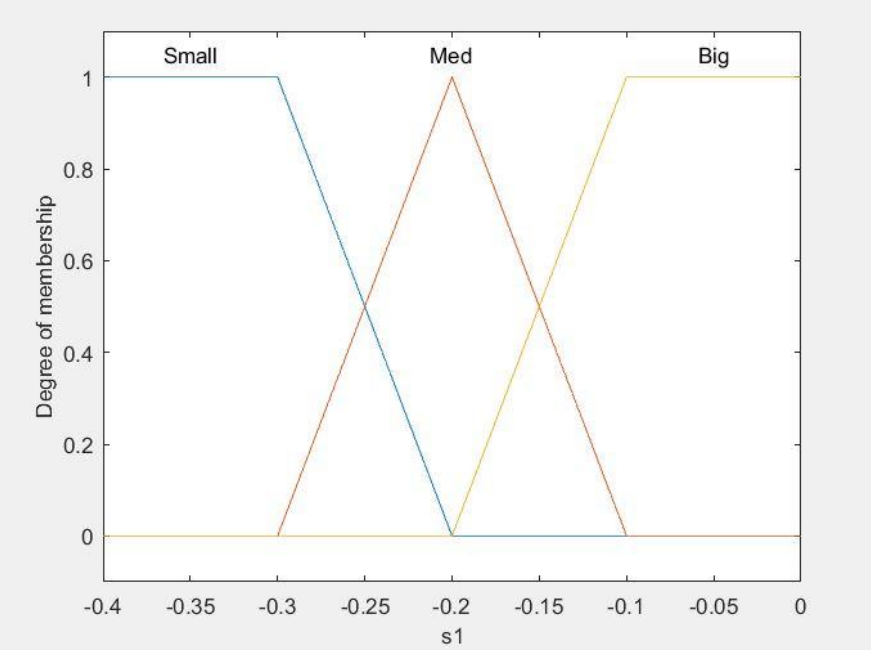
تم تحديد بارامترات توابع انتماء الخرج s0 كما هو موضح بالشكل(5-7):



الشكل (5-7) بارامترات توابع انتماء الخرج s0

توابع انتماء المتغير s1 :

تم تحديد بارامترات توابع انتماء الخرج s1 كما هو موضح بالشكل (5-8):



الشكل (5-8) بارامترات توابع انتماء الخرج s1

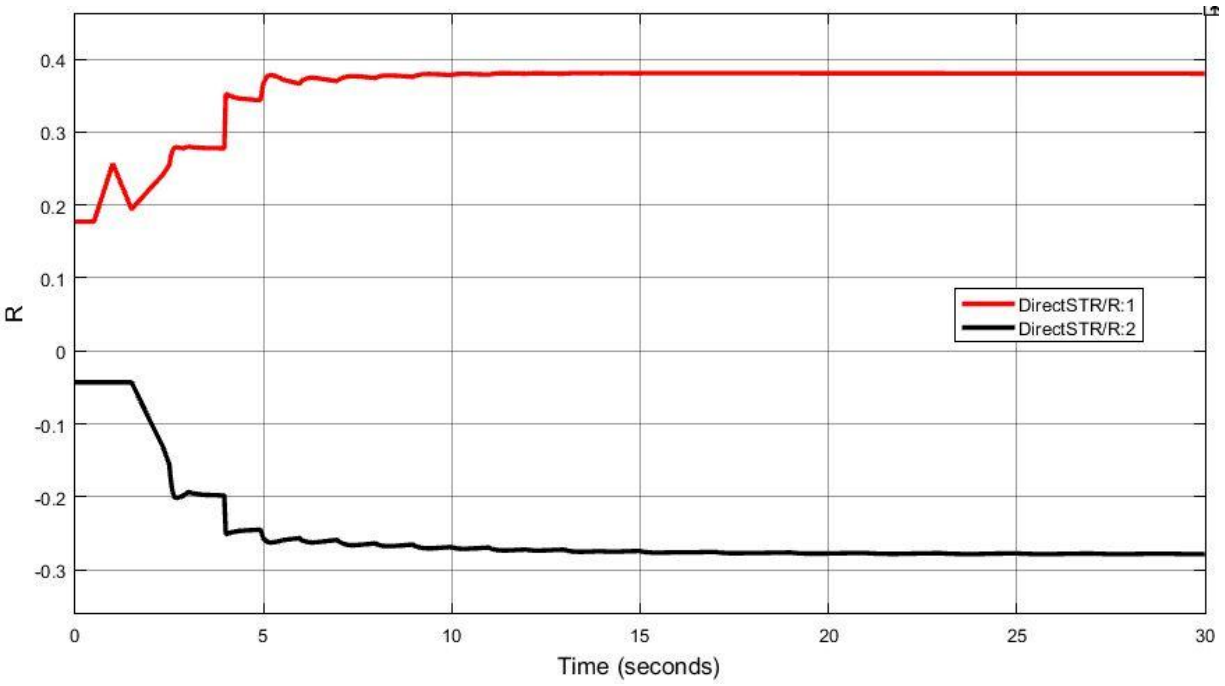
5-2-1-3-استنتاج مجال بارامترات كثير الحدود R:

من المعادلة (5-2) تبين أن كثير الحدود R من الدرجة الأولى وبالتالي هناك بارامترين لكثير الحدود R:(r0,r1)

ويظهر الشكل (5-9) مجال قيم (r0,r1) وهي مخارج للمتحكم العائم حيث:

r0: [0.1,0.4]

r1: [−0.3,0]

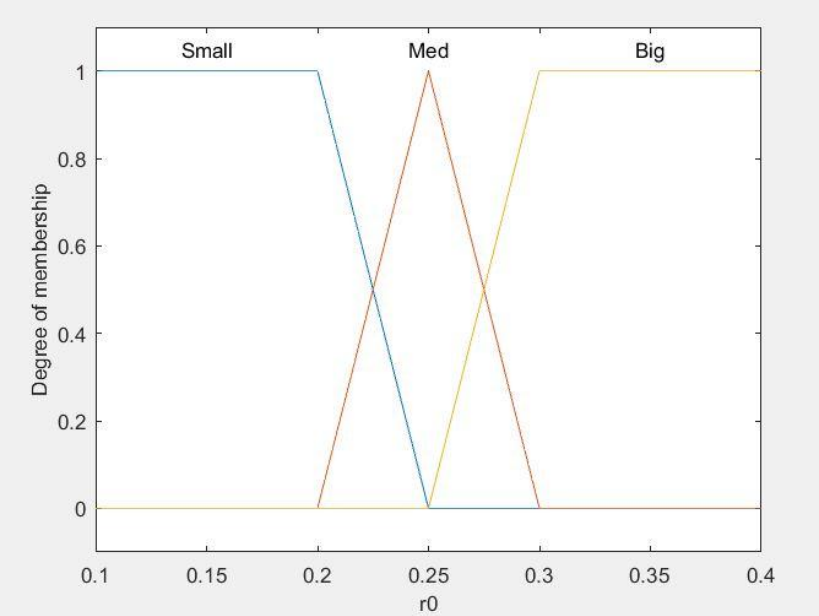


الشكل (5-9) مجال قيم بارامترات كثير الحدود R

بعد تحديد مجال المخارج (r0,r1)، تم اقتراح ثلاثة توابع انتماء لكل متغير وهي(small,med,big) وتم تحديد بارامترات توابع الانتماء بالتجريب كما يلي:

توابع انتماء المتغير r0 :

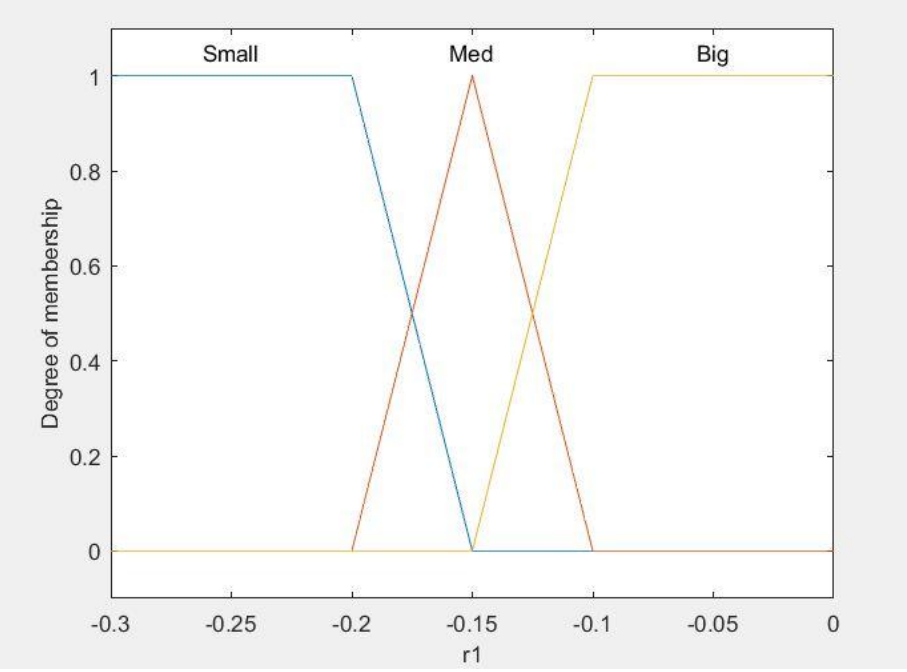
تم تحديد بارامترات توابع انتماء الخرج r0 كما هو موضح بالشكل(5-10):



الشكل (5-10) بارامترات توابع انتماء الخرج r0

توابع انتماء المتغير r1 :

تم تحديد بارامترات توابع انتماء الخرج r1 كما هو موضح بالشكل(5-11):



الشكل (5-11) بارامترات توابع انتماء الخرج r1

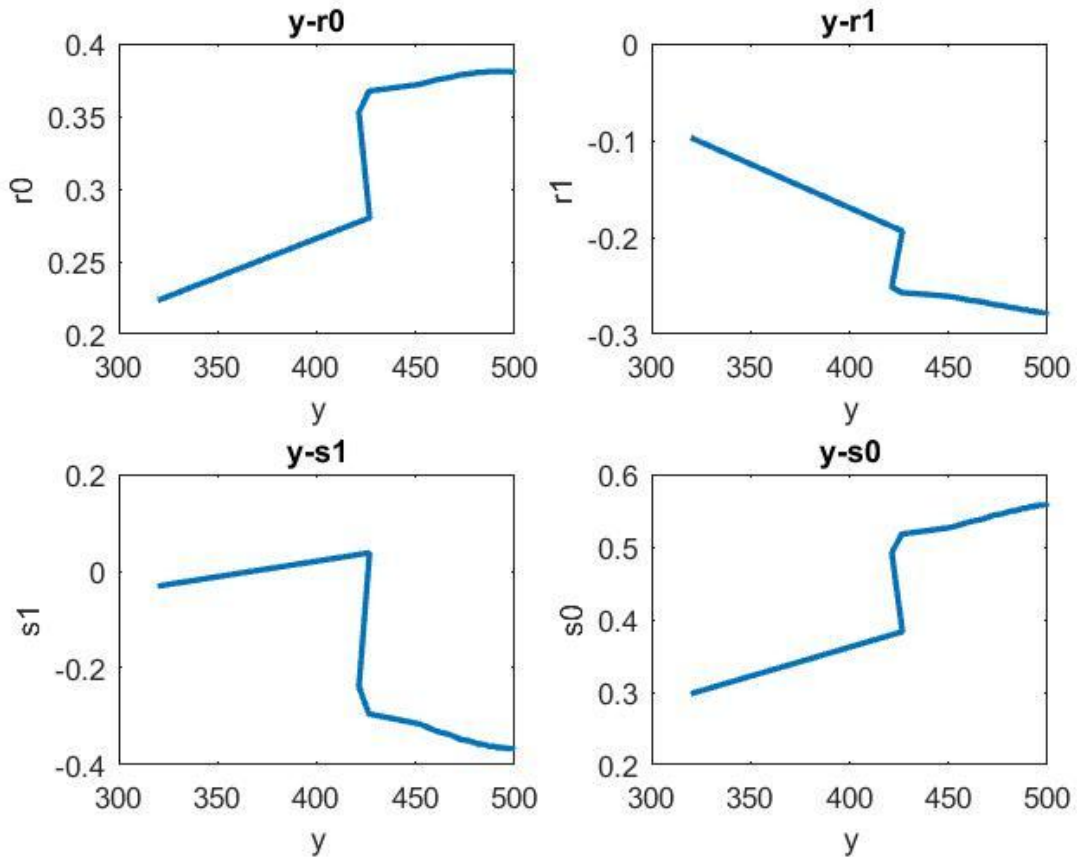
5-2-2-استنتاج قواعد المتحكم العائم:

تم استنتاج قواعد المتحكم العائم من خلال تنفيذ الخوارزمية الضمنية بحالة تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية والمخمن RLSE واستخراج القواعد المناسبة.

حيث يُظِهر الشكل (5-12) علاقة دخل المتحكم العائم y(Tr) بمخارج المتحكم الأربعة (s0,s1,r0,r1)

ويكون الشكل العام للقاعدة العائمة كالتالي:

If y is .. Then s0 is .. and s1 is .. and r0 is .. and r1 is ..



الشكل (5-12) علاقة دخل المتحكم العائم y(Tr) بمخارج المتحكم الأربعة (s0,s1,r0,r1) حسب الخوارزمية الضمنية

من الشكل (5-12) نستطيع استنتاج القواعد العائمة التالية:

1. If y is small then s0 is small
2. If y is small then r0 is small

3. If y is small then s1 is big

4. If y is small then r1 is big

5. If y is med then s0 is med

6. If y is med then r0 is med

7. If y is med then s1 is med

8. If y is med then r1 is med

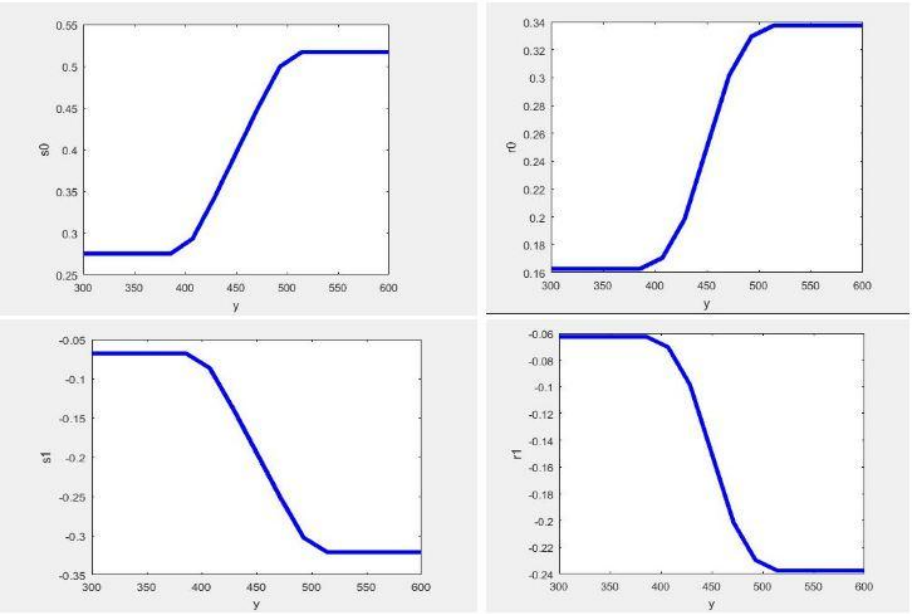
9. If y is big then s0 is big

10. If y is big then r0 is big

11. If y is big then s1 is small

12. If y is big then r1 is small

يُظهِر الشكل (5-13) العلاقة بين دخل المتحكم العائم y(Tr) ومخارج المتحكم الأربعة (s0,s1,r0,r1) حسب القواعد العائمة.

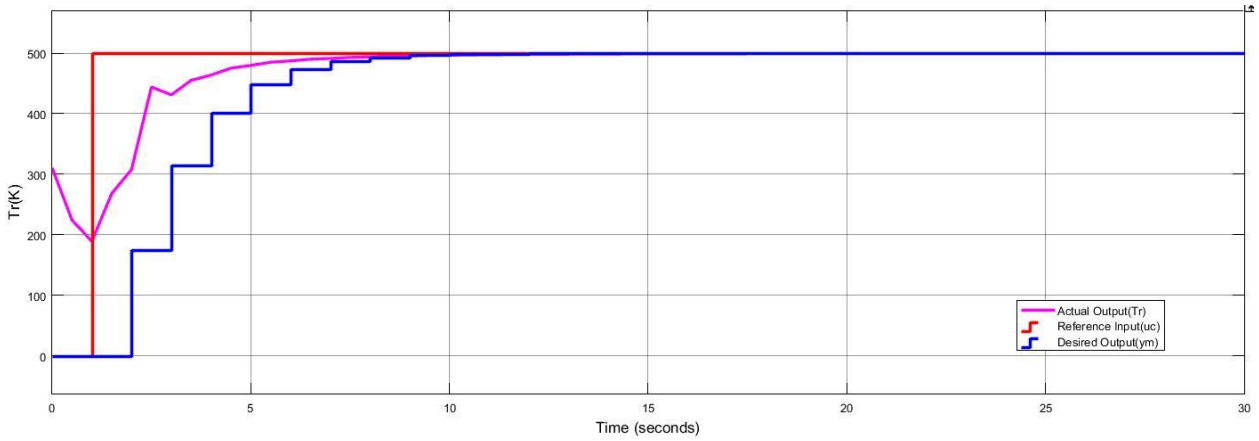


الشكل (5-13) علاقة دخل المتحكم العائم y(Tr) بمخارج المتحكم الأربعة (s0,s1,r0,r1) حسب القواعد العائمة

بالمقارنة بين الشكلين (5-12) ،(5-13) نلاحظ إن الطريقة العائمة المقترحة صحيحة.

5-2-3- اختبار خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم بحالة تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية:

تم تنفيذ الخوارزمية على نظام المفاعل الكيميائي حيث تم تحديد زمن التقطيع (0.5Sec) حيث كانت الاستجابة كما هي موضحة بالشكل (5-14):



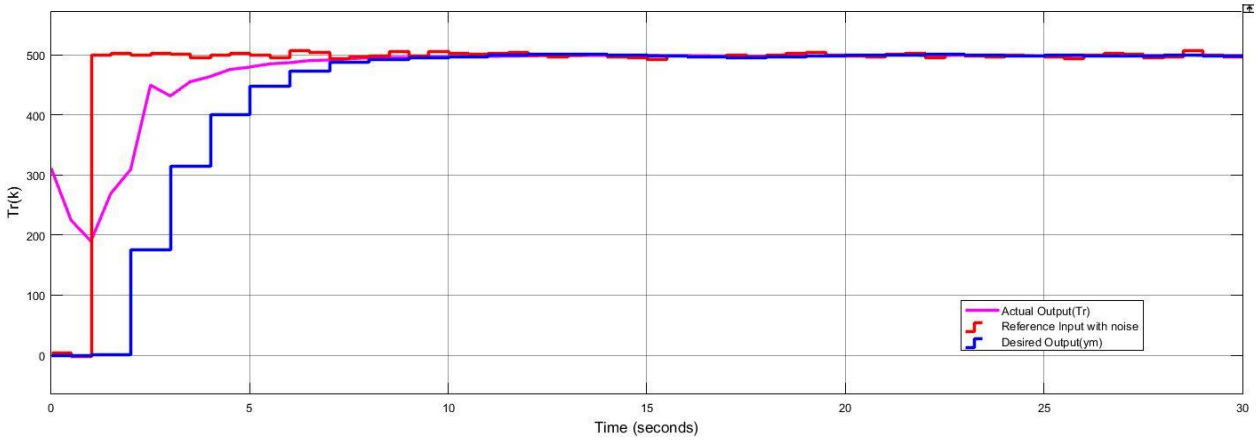
الشكل (5-14) استجابة نظام المفاعل الكيميائي باستخدام خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية

نلاحظ من الشكل (5-14) الوصول للاستجابة المرغوبة بدقة مما يدل على كفاءة الخوارزمية المقترحة.

تم إضافة ضجيج غاوسي للإشارة المرجعية uc لاختبار كفاءة الخوارزمية المقترحة بحالة تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية، حيث تم القيام بالتجربة من أجل قيمتين للتباين:

5-2-3-1-اختبار خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم بحالة تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية بوجود ضجيج بتباين قيمته 10:

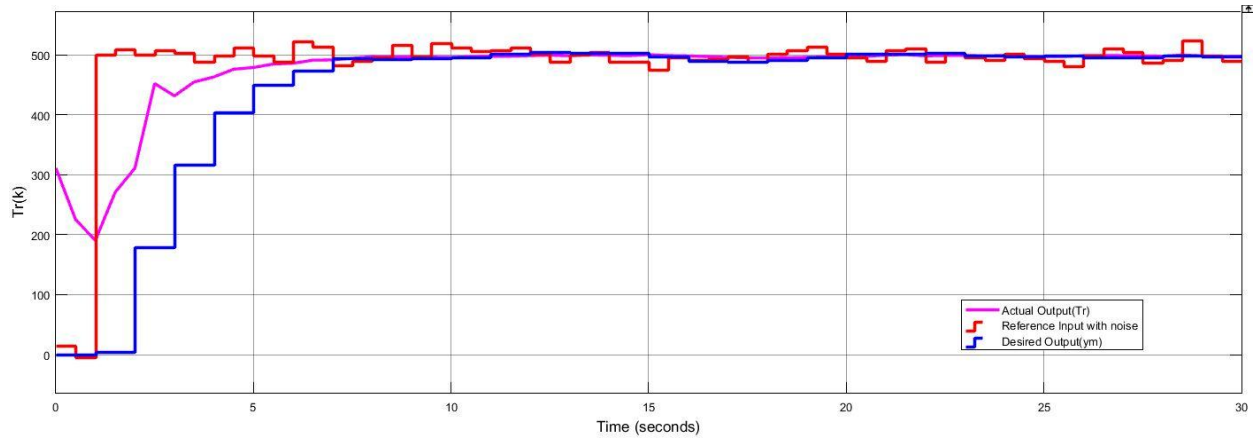
تم إضافة ضجيج غاوسي بتباين قيمته 10على نظام المفاعل الكيميائي حيث كانت الاستجابة كما هي موضحة بالشكل (5-15):



الشكل (5-15) استجابة نظام المفاعل الكيميائي باستخدام خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية بوجود ضجيج ذو تباين قيمته 10

5-2-3-2- اختبار خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم بحالة تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية بوجود ضجيج بتباين قيمته 100:

تم إضافة ضجيج غاوسي بتباين قيمته 100على نظام المفاعل الكيميائي حيث كانت الاستجابة كما هي موضحة بالشكل (5-16):



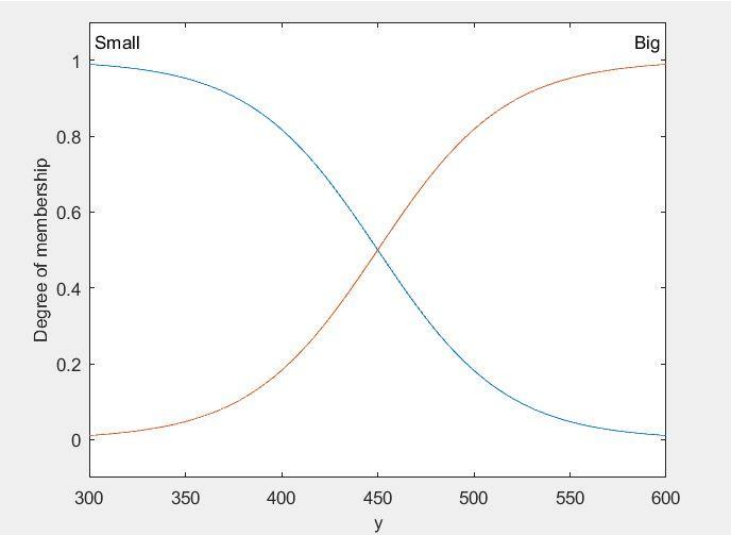
الشكل (5-16) استجابة نظام المفاعل الكيميائي باستخدام خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية بوجود ضجيج ذو تباين قيمته 100

بالمقارنة بين الشكلين (5-15) و (5-16) نلاحظ ملاحقة الخوارزمية للدخل المرجعي للحفاظ على الاستقرار نسبياً حيث كانت قيمة الخطأ 0.4%عند إضافة ضجيج بتباين قيمته 10 لكن بحالة قيمة التباين 100 كان الخطأ أكبر ويساوي 1%.

5-2-4-تعديل توابع انتماء دخل ومخارج المتحكم العائم:

نقترح تجربة ثانية لطريقة التصميم العائمة المقترحة من خلال تعديل توابع انتماء الدخل والخرج حيث نستخدم توابع انتماء من نوع sigmoidal.

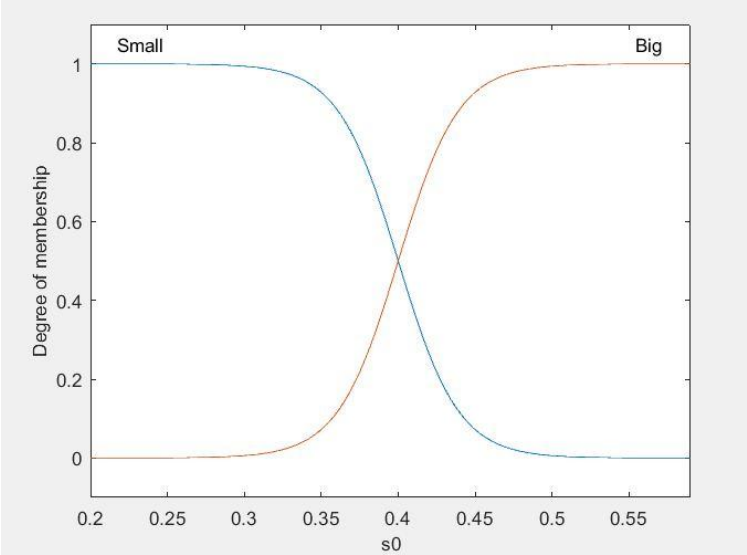
تم اقتراح تابعي انتماء لدخل المتحكم العائم (y) وهي(small,big) وتم تحديد بارامترات توابع الانتماء بالتجريب كما هو موضح بالشكل (5-17):



الشكل (5-17) بارامترات توابع انتماء الدخل y

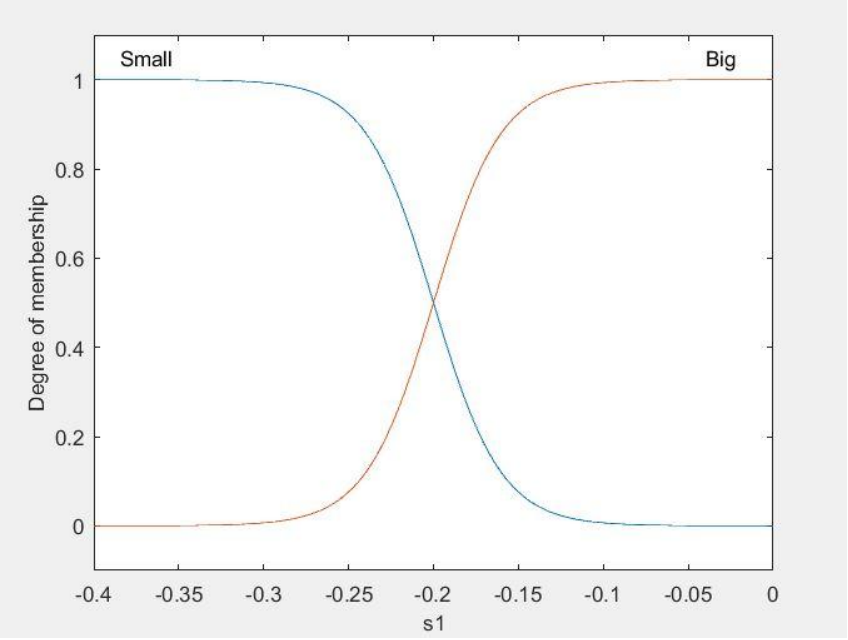
كما تم اقتراح تابعي انتماء لكل متغير من متغيرات الخرج (s0,s1,r0,r1) وهي(small,big) وتم تحديد بارامترات توابع الانتماء بالتجريب كما يلي:

توابع انتماء المتغير s0 : تم تحديد بارامترات توابع انتماء الخرج s0 كما هو موضح بالشكل(5-18):



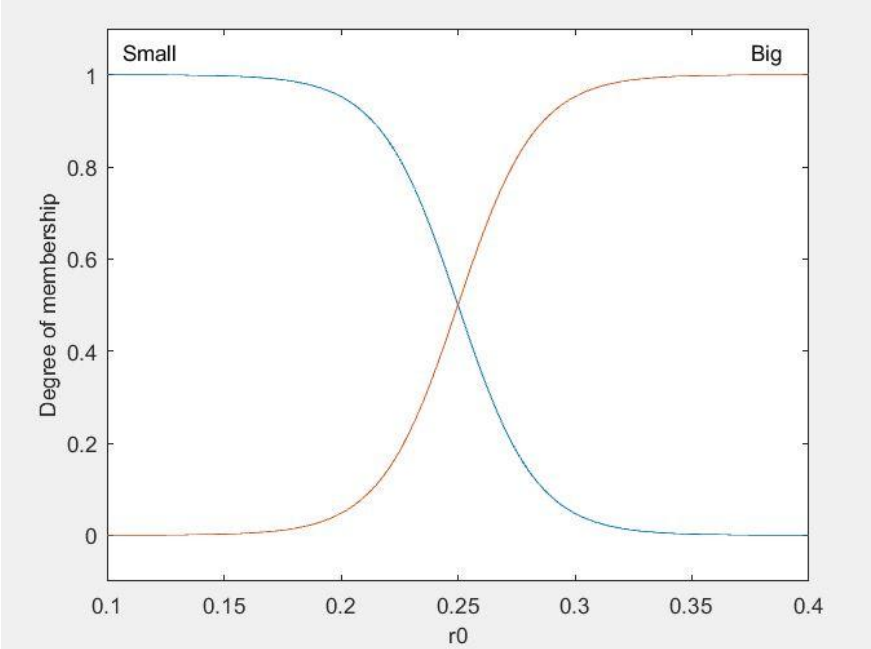
الشكل (5-18) بارامترات توابع انتماء الخرج s0

توابع انتماء المتغير s1 : تم تحديد بارامترات توابع انتماء الخرج s1 كما هو موضح بالشكل(5-19)



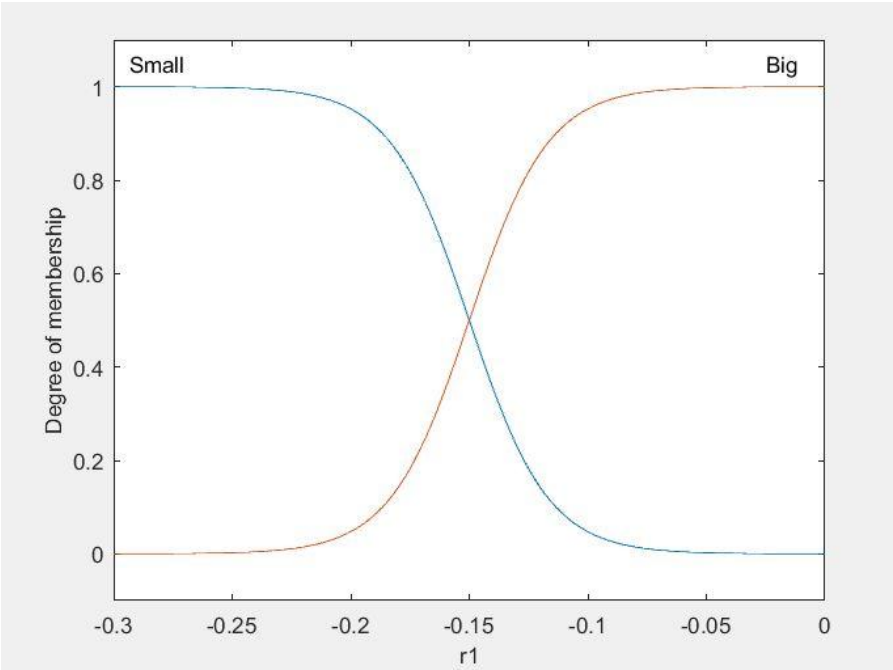
الشكل (5-19) بارامترات توابع انتماء الخرج s1

توابع انتماء المتغير r0 : تم تحديد بارامترات توابع انتماء الخرج r0 كما هو موضح بالشكل(5-20)



الشكل (5-20) بارامترات توابع انتماء الخرج r0

توابع انتماء المتغير r1 : تم تحديد بارامترات توابع انتماء الخرج r1 كما هو موضح بالشكل(5-21)



الشكل (5-21) بارامترات توابع انتماء الخرج r1

كما تم تعديل قواعد المتحكم العائمة كالتالي:

1. If y is small then s0 is small

2. If y is small then r0 is small

3. If y is small then s1 is big

4. If y is small then r1 is big

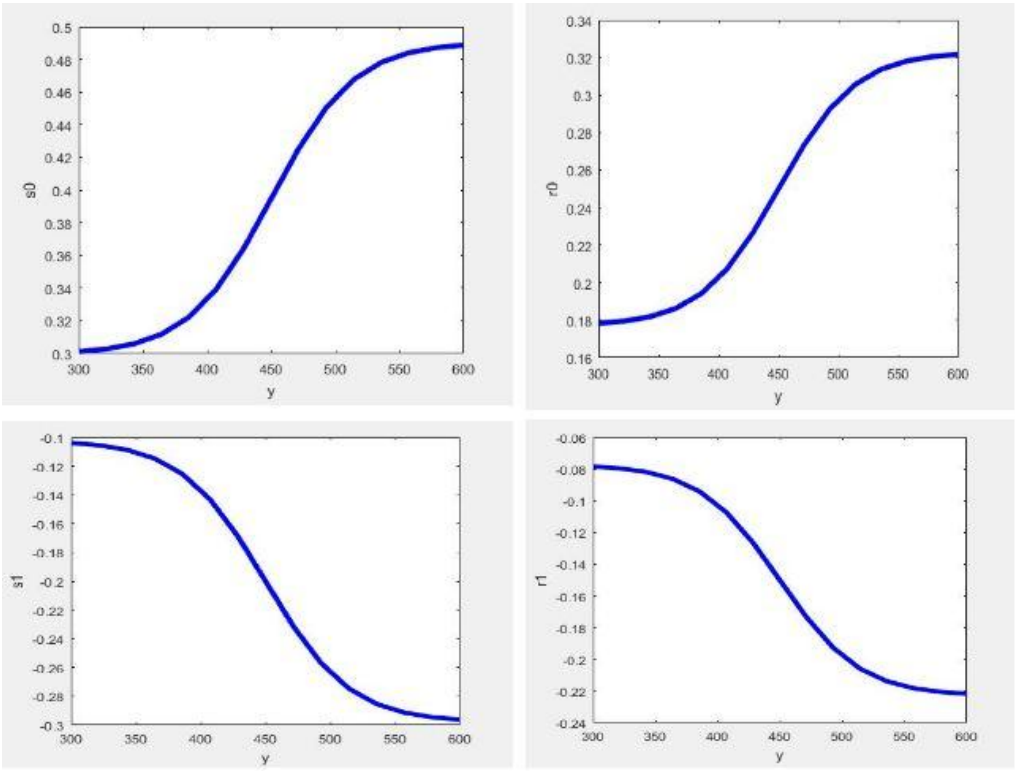
5. If y is big then s0 is big

6. If y is big then r0 is big

7. If y is big then s1 is small

8. If y is big then r1 is small

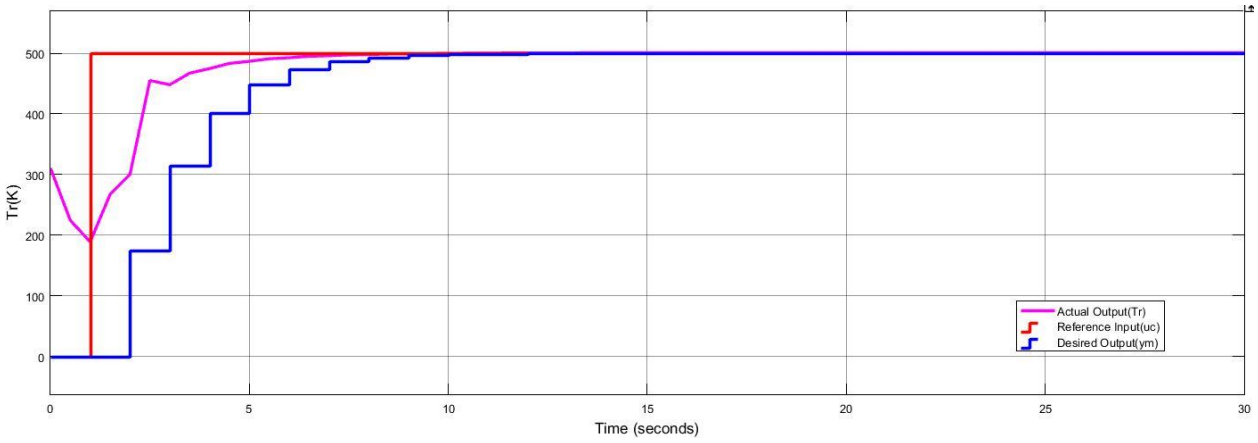
يُظهِر الشكل (5-22) العلاقة بين دخل المتحكم العائم y(Tr) ومخارج المتحكم الأربعة (s0,s1,r0,r1) حسب القواعد العائمة الجديدة بعد تعديل توابع الانتماء إلى نوع sigmoidal.



الشكل (5-22) علاقة دخل المتحكم العائم y(Tr) بمخارج المتحكم الأربعة (s0,s1,r0,r1) حسب القواعد العائمة وتوابع انتماء من نوع sigmoidal

5-2-4-1- اختبار خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم بحالة تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية وتوابع الانتماء من نوع sigmoidal:

تم تنفيذ الخوارزمية على نظام المفاعل الكيميائي وزمن التقطيع (0.5Sec) حيث كانت الاستجابة كما هي موضحة بالشكل (5-23):

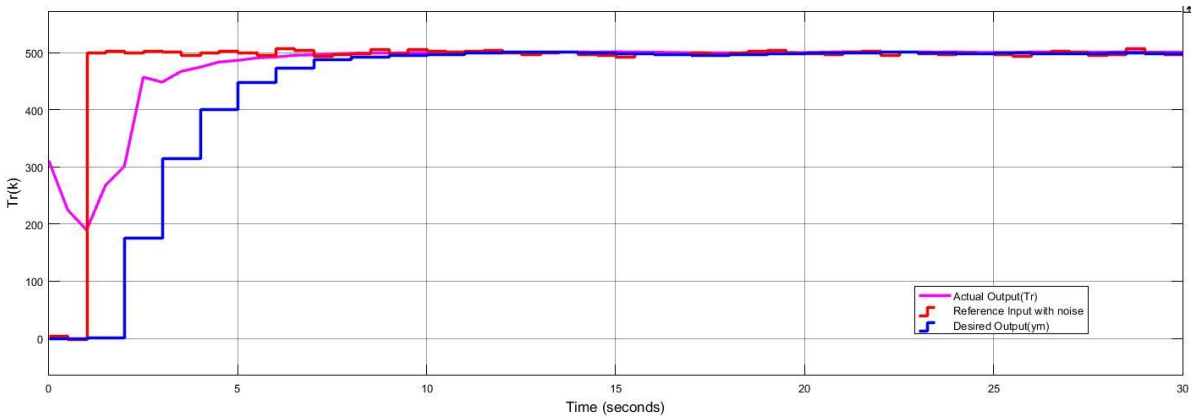


الشكل (5-23) استجابة نظام المفاعل الكيميائي باستخدام خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم بحالة توابع انتماء من نوع sigmoidal وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية

نلاحظ من الشكل (5-23) الوصول للاستجابة المرغوبة بدقة مما يدل على كفاءة الخوارزمية المقترحة.

5-2-4-2- اختبار خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم بحالة تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية وتوابع الانتماء من نوع sigmoidal بوجود ضجيج ذو تباين قيمته 10:

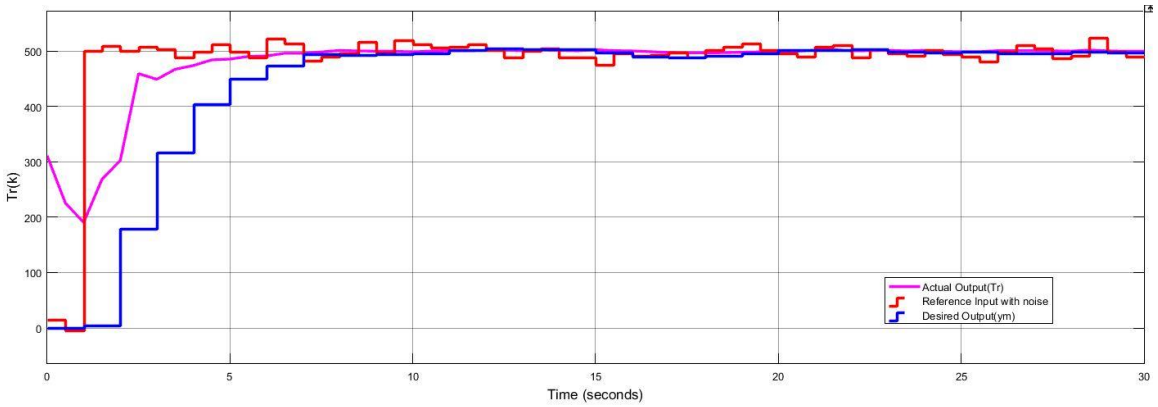
تم إضافة ضجيج غاوسي بتباين قيمته 10على نظام المفاعل الكيميائي باستخدام برنامج MATLAB وتم تحديد زمن التنفيذ (30Sec) حيث كانت الاستجابة كما هي موضحة بالشكل (5-24):



الشكل (5-24) استجابة نظام المفاعل الكيميائي باستخدام خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم بحالة توابع انتماء من نوع sigmoidal وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية بوجود ضجيج ذو تباين قيمته 10

5-2-4-3- اختبار خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم بحالة تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية وتوابع الانتماء من نوع sigmoidal بوجود ضجيج ذو تباين قيمته 100:

تم إضافة ضجيج غاوسي بتباين قيمته 100على نظام المفاعل الكيميائي حيث كانت الاستجابة كما هي موضحة بالشكل (5-25):



الشكل (5-25) استجابة نظام المفاعل الكيميائي باستخدام خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم بحالة توابع انتماء من نوع sigmoidal وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية بوجود ضجيج ذو تباين قيمته 100

بالمقارنة بين الشكلين (5-24) و (5-25) نلاحظ ملاحقة الخوارزمية للدخل المرجعي للحفاظ على الاستقرار نسبياً حيث كانت قيمة الخطأ 0.1%عند إضافة ضجيج بتباين قيمته 10 لكن بحالة قيمة التباين 100 كان الخطأ أكبر ويساوي 0.2%، كما يمكن تضمين طريقة التغيرات الأصغرية minimum variance ضمن الطريقة العائمة المقترحة لحذف التغيرات الضجيجية.

5-3- مناقشة النتائج:

تمت مقارنة أداء النظام المدروس بوجود الخوارزمية المقترحة مع أدائه في حالة الخوارزمية الضمنية بجميع الحالات المدروسة من خلال معايير المقارنة (الخطأ الساكن، التجاوز، زمن الوصول، زمن الاستقرار) وكانت النتائج كما هي موضحة بالجدول (5-1):

الجدول (5-1) مقارنة نتائج الخوارزمية المقترحة مع الخوارزمية الصريحة والضمنية

			Overshoot	Settling Time[Sec]	Rise Time[Sec]	Static Error
Desired Response(degree2)			0	4.25	1.8	0
Desired Response(degree3)			0	6.4	2.1	0
Reference[2]			0	11.8064	4.2045	0
STR Indirect		CSTR(degree3)(offline)	18.736	5.0487	0.244	60
		CSTR(degree3)(online)	4.575	28.951	0.252	0
		CSTR(degree2)(offline)	0	3.8438	0.9766	35
		CSTR(degree2) (online)	0	17.6639	9.7333	0
STR Direct		CSTR(degree3)(online)	12.494	19.124	0.204	0
		CSTR(degree2)(online)	0	17.7252	9.8059	0
STR Fuzzy	1	CSTR(degree2)(online)	0	3.8676	0.9713	0
	2	CSTR(degree2)(online)	0	3.6415	0.9545	0

من دراسة ومناقشة الجدول السابق (5-1) نستنتج:

- تخمين البارامترات باستخدام LSE لا يؤدي إلى الغاء الخطأ الساكن بينما تخمين البارامترات باستخدام RLSE يؤدي إلى الغاء الخطأ الساكن وذلك لأن طريقة مخمن التربيع الأصغري تعتمد على تجميع بيانات دخل وخرج النظام وحساب بارامتراته دفعة واحدة.

- خوارزمية المنظم ذاتي التوليف الضمنية أعطت نفس نتائج الخوارزمية الصريحة عند استخدام تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية دون الحاجة إلى تمثيل النظام بنموذج رياضي لذلك تم تطوير الخوارزمية الضمنية.

- خوارزمية المنظم ذاتي التوليف العائم المقترحة أدت إلى سرعة الوصول للاستقرار حيث تم تحسين زمن الوصول مقارنة مع الخوارزمية الضمنية بنسبة 21% وزمن الاستقرار بنسبة 11%

الفصل السادس

الاستنتاجات والآفاق المستقبلية

6-1- الاستنتاجات:

تم التحكم بدرجة حرارة المفاعل الكيميائي ذي التقليب المستمر باستخدام خوارزمية المنظم ذاتي التوليف الصريحة حيث تم تمثيل النظام بنموذج رياضي من الدرجة الثانية وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية وتم تخمين بارامترات النظام باستخدام طريقة LSE ثم طريقة RLSE ولكن لم يحقق النظام الاستجابة المرغوبة من ناحية زمن الوصول وزمن الاستقرار لذلك تم اقتراح نموذج رياضي من الدرجة الثالثة وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثالثة وكذلك تم تخمين بارامترات النظام بطريقة LSE ثم طريقة RLSE ولكن تم تعقيد النموذج الرياضي دون الوصول للاستجابة المرغوبة.

ومن ثمّ تم التحكم بدرجة حرارة المفاعل الكيميائي ذي التقليب المستمر باستخدام خوارزمية المنظم ذاتي التوليف الضمنية بفرض أن النظام ذو طور أصغري والدرجة النسبية $d_0=1$ وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية وتم تخمين بارامترات المتحكم بطريقة RLSE ولكن لم يحقق النظام الاستجابة المرغوبة لذلك تم اقتراح تابع التحويل المرغوب من الدرجة الثالثة وكذلك تم تخمين بارامترات المتحكم بطريقة RLSE ولكن تم تعقيد النموذج الرياضي دون الوصول للاستجابة المرغوبة.

وقد تم إضافة ضجيج للنظام في حالة استخدام خوارزمية المنظم ذاتي التوليف الضمنية لاختبار متانة المتحكم وكان الخطأ يتراوح بين 0.4-1 % حسب قيمة الضجيج.

تمت مقارنة أداء النظام المدروس بوجود الخوارزمية الصريحة مع أدائه في حالة الخوارزمية الضمنية بجميع الحالات المدروسة من خلال معايير المقارنة (الخطأ الساكن، التجاوز، زمن الوصول، زمن الاستقرار) وكانت النتائج كما هي موضحة بالجدول (5-1) حيث تبين النتائج أن الخوارزمية الضمنية عند استخدام تابع تحويل من الدرجة الثانية أعطت نفس نتائج الخوارزمية الصريحة ودون الحاجة لنموذج رياضي للنظام.

لذلك تم اقتراح تطوير للخوارزمية الضمنية باستخدام المنطق العائم حيث تم تمثيل بارامترات المنظم ذاتي التوليف بشكل عائم وتم استخدامها لضبط حرارة المفاعل الكيميائي بفرض أن النظام ذو طور أصغري والدرجة النسبية d0=1 وتابع التحويل المرغوب من الدرجة الثانية.

تم اختبار أداء نظام المفاعل الكيميائي بوجود الخوارزمية المقترحة للمتحكم STR من أجل حالة وجود ضجيج على الدخل وكان الخطأ يتراوح بين 0.1-0.2 % حسب قيمة الضجيج.

6-2-الآفاق المستقبلية:

- إضافة طريقة minimum variance للخوارزمية المقترحة لإلغاء تغيرات الضجيج.
- دراسة تأثير زمن التقطيع على استجابة النظام واختيار زمن التقطيع الأمثل.
- إضافة خوارزمية أمثلة لتحديد النموذج الرياضي الأمثلي للنظام أو تحديد نوع الجملة.

المراجع:

1. T. Shoga, C. Bharatiraja, A. Thelkar ,S.Mitiku and Y. Adedayo, "Self-tuning Regulator Based Cascade Control for Temperature of Exothermic Stirred Tank Reactor" , FME Transactions ,vol. 47,No. 1, pp. 202-211,December. 2018

2. R.Reshmi, J.Gnanasoundharam, K.Kotteeswaran, "Design of Self-Tuning Regulator for Non-Linear Unstable System" International Journal of Pure and Applied Mathematics , Vol.118, No. 20 ,pp. 61-66,2018.

3. Kagan Koray Ayten ,Ahmet Dumlu, and Aliriza Kaleli, "Real-time implementation of self-tuning regulator control technique for coupled tank industrial process system", Volume 232, Issue 8,2018

4. EZE P. C., JONATHAN, A. EMMANUEL , OKORONKWO, EMMANUEL A.,AKIN, M. PHILLIPS , "Improving the Transient Response Performance of CSTR Using MRAC" , IRE Journals, Volume 3 Issue 1, ISSN: 2456-8880,2019

5. Jiao Chen, Jiangyun Wang and Weihong Wang , "Robust Adaptive Control for Nonlinear Aircraft System with Uncertainties" , Appl. Sci. ,Vol 10, 4270,2020

6. Seyyed Morteza Ghamari, Hasan Mollaee1, Fatemeh Khavari, "Design of robust self-tuning regulator adaptive controller on single-phase full-bridge inverter", *IET Power Electron.*, Vol. 13 Iss. 16, pp. 3613-3626,2020

7. Yanjun Zhang, Ji-Feng Zhang, Xiao-Kang Liu, "Implicit function based adaptive control of non-canonical form discrete-time nonlinear systems", Automatica Vol 129 ,2021

8. Laihong Zhou, Shunjian Xu, Hong Jin and Huihua Jian, "A hybrid robust adaptive control for a quadrotor UAV via mass observer and robust controller", Advances in Mechanical Engineering, Vol. 13(3) 1–11, 2021

9. Joey Reinders , Bram Hunnekens , Frank Heck, Tom Oomen , and Nathan van de Wouw, "Adaptive Control for Mechanical Ventilation for Improved Pressure Support" ,IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY, VOL. 29, NO. 1, JANUARY, 2021

10. Dr. Rajiv Ranjan ,"BRIEF STUDY AND APPLICATION OF ADAPTIVE CONTROL SYSTEM" International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science , Vol:04,Issue:05,May-2022

11. Chidentree Treestayapun, and Aldo Jonathan Muñoz-Vázquez, "Model-Free Adaptive Control Based on Fractional Input-Output Data Model" Appl. Sci. Vol 12, 11168,2022

12. Justin E. Kernot and Steve Ulrich, "Adaptive Control of a Tendon-Driven Manipulator for Capturing Non-Cooperative Space Targets" , JOURNAL OF SPACECRAFT AND ROCKETS ,Vol. 59, No. 1, 2022

13. Hasan Mollaee ,Seyyed Morteza Ghamari and Fatemeh Khavari, "Self-tuning regulator adaptive controller design for DC-DC boost converter with a novel robust improved identification method" , IET Power Electron, 2022

14. Yaning Wang, "IBLF-based adaptive finite-time control and modeling for continuous stirred tank reactor with output constraint", Journal of the Franklin Institute, Volume 359, Issue 16, Pages 8669-8686, November 2022

15. Derakhshannia, Mehran Moosapour and Seyyed Sajjad, "Finite-Time Sliding Mode Control for Continuous Stirred Tank Reactors Based on Disturbance Observer" , Iran. J. Chem. Chem. Eng, Vol. 41, No. 11, 2022

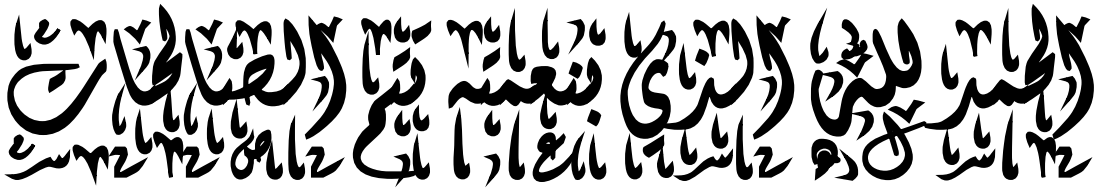
16. K. J. Astrom and B. Wittenmark, "Adaptive Control", Addison-Wesley,1989,2ed .1994

17. G.J.Klir and B.Yuan "Fuzzy Sets and Fuzzy Logic Theory and Applications", United States of America. 1995

18. N.K.Kasabov "Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems , and Knowledge Engineering" , 2nd ed , London , England , pp.581. 1998

19. G.Chen and T.T.Pham "Introduction to Fuzzy Sets , Fuzzy Logic and Fuzzy Control Systems" ,London , NewYork, pp.329. 2001

20. Dale E. Seborg, Thomas F. Edgar, Duncan A. Mellichamp, Francis J. Doyle III "Process Dynamics and Control", Addison Wiley, 2004, ,2ed


الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات

Abstract

Nonlinearity rarifies the control and predictability of system dynamic behavior. In order to attain successful control performance, adaptive control concepts are introduced to adjust the controller parameters, and fuzzy logic is deployed to simplify mathematical calculations of controller parameters.

The research aims to enhance the performance of complex nonlinear systems by developing a self-tuning regulator algorithm using fuzzy logic.

The research contains the control of continuous stirred tank reactor temperature using explicit and implicit forms of Self-Tuning Regulator algorithm(STR). The system parameters were adjusted using Least Square Estimation algorithm(LSE) and the Recursive Least Square Estimation algorithm(RLSE). and the controller parameters were adjusted using pole placement method, and then the Implicit Self-Tuning Regulator algorithm was developed using fuzzy logic.

The research proved that the proposed fuzzy self-tuning regulator algorithm achieved the desired response for the nonlinear CSTR system accurately and without computational complications, as the settling time was enhanced compared to the explicit and implicit algorithm by 21% and the rise time by 11%.

Keywords: Adaptive Control, Self-tuning Regulator, Least Square Estimation, Recursive Least Square Estimation, Pole Placement method, Fuzzy Logic, Continuous Stirred Tank Reactor