

Improve the Efficiency of the Control Systems for DC Electric Elevators Using Artificial Intelligence

Dr. Mikhael Salim Makhoul*

Dr. Doha Khaled jdeed**

Hazar Hatem Moussi***

(Received 29 / 3 / 2023. Accepted 5 / 6 / 2023)

□ ABSTRACT □

The stability of the control system and its high efficiency in various operating conditions is the biggest concern for designers of control systems, this research provides an improved design of a control system used to drive and control the operation of an electric elevator with a DC motor, a system using (Proportional Integral controller,PI) was developed, the system was also updated from two aspects, the first of which is the introduction of the differential control system, in addition to the use of the Fuzzy control as a debugger supervisory system to the output of the PID system(Proportional Integral Derivative controller), motor speed has been compared with the change of time during start and stop, and the displacement from the stopping point of the elevator, the simulation results using MATLAB/SIMULINK showed the superiority of the proposed Fuzzy-Pid system by up to 85.7%,The system has also been tested for different loads, and the results showed an improvement in the shape of the signal when the mass increased with an error rate of 17.2%.

Keywords : Fuzzy Logic – PID – DC Motor – Matlab – Elevator

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

*Professor, Department of Industrial Automation, Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Tartous, Syria.

**Assistant Professor, Department of Industrial Automation, Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Tartous, Syria.

***Postgraduate student (M.A) –Department of Equipment and Mechanics Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Tartous, Syria. Hazarmoussi@gmail.com

تحسين كفاءة أنظمة التحكم لمحركات المصاعد الكهربائية ذات التيار المستمر باستخدام الذكاء الصناعي

مخايل سليم مخول *

ضحى خالد جديد **

هازار حاتم موسى ***

(تاريخ الإيداع 29 / 3 / 2023. قُبل للنشر في 5 / 6 / 2023)

□ ملخص □

يعتبر استقرار نظام التحكم وارتفاع كفاءته في مختلف ظروف التشغيل هو الهاجس الأكبر أمام مصممي أنظمة التحكم، يقدم هذا البحث تصميماً محسناً لنظام تحكم سابق يستخدم للقيادة والتحكم بتشغيل مصعد كهربائي ذو محرك تيار مستمر، حيث تم تطوير نظام يستخدم معوض التحكم التناسبي التكاملية (Proportional Integral controller, PI)، كما تم تحديث النظام من جانبين أولهما إدخال المعوض التفاضلي بالإضافة إلى استخدام التحكم الضبابي كنظام إشرافي مصحح لخرج نظام المتحكم التناسبي التكاملية التفاضلي (Proportional Integral Derivative controller, PID)، تم مقارنة سرعة المحرك مع تغيير الزمن خلال التشغيل والتوقف، والإزاحة عن نقطة التوقف المخصصة للمصعد، بينت نتائج المحاكاة باستخدام MATLAB/SIMULINK تفوق لنظام FUZZY-PID المقترح بنسبة وصلت لـ 85.7%، كما تم اختبار النظام من أجل أحمال مختلفة، وأظهرت النتائج تحسناً بشكل الإشارة عند ازدياد الكتلة بنسبة خطأ وصلت لـ 17.2%.

الكلمات المفتاحية: المنطق الضبابي، PID، محرك تيار مستمر، MATLAB، مصعد.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* أستاذ - قسم الأتمتة الصناعية - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس - طرطوس - سورية.
*مدرس - قسم الأتمتة الصناعية - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس - طرطوس - سورية.
***طالبة دراسات عليا (ماجستير) - قسم الأتمتة الصناعية - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس - طرطوس - سورية .
Hazarmoussi@gmail.com

مقدمة:

يؤدي الضبط الدقيق لقيم المعوضات إلى تحسين استقرار نظام التحكم ورفع كفاءته من أجل العمل تحت ظروف مختلفة، في نظام المصعد الكهربائي تكون متغيرات كثيرة تؤثر على استقرار عمل النظام منها مسببات ميكانيكي مثل وزن العربة ومنها ما يتعلق بالناحية الكهربائية مثل دارة القيادة بالتالي نحن بحاجة إلى نظام متكيف قادر على التعامل مع ظروف تحميل مختلفة للمصعد.

لذلك عند نقل أي حمل في المصعد، تتم مواجهة مشكلتين: مشكلة الحالة العابرة والحالة المستقرة، ففي الحالة العابرة يجب زيادة السرعة حتى السرعة المطلوبة، الأمر الذي يسبب في بداية الإقلاع الرعشة Jerk، ولنضمن عملية صعود أو هبوط مريحة للراكبين يجب العمل على تقليل الاهتزازات التي تحدث في الوحدة المادية للمصعد (العربة) المتعلقة بتغير التسارع.

تمتاز محركات التيار المستمر عن محركات التيار المتناوب المستخدمة في المصاعد بما يلي:

1. أقل أعطال من حيث الصيانة.
 2. يمكن التحكم بدقة تموضع المحرك بسبب دارات التحكم الدقيقة لمحركات التيار المستمر.
 3. أقل استخداماً في الواقع في المصاعد بسبب ارتفاع تكلفة المحركات.
- تهدف الدراسة إلى استخدام متحكم FUZZY-PID للتقليل من التغيرات العشوائية التي تحصل في بداية منحنى السرعة لنظام تحكم بسرعة مصعد تيار مستمر، واختبار النظام في ظروف تحميل مختلفة.
- تم وضع مجالات التوابع المستخدمة في التحكم الضبابي بالإضافة لقيم ثوابت متحكم PID تجريبياً بما يتناسب مع البحث.

الدراسات المرجعية:

قام الباحث الدكتور لطفي بتصميم منصة تعليمية للطلاب في جامعة فيلادلفيا لفهم أنظمة القيادة ومبادئ إلكترونيات القدرة وتصميم نظام تحكم بمحرك مصعد ذو تيار مستمر باستخدام متحكم PI حيث تم اعتماد النظام المصمم في بيئة MATLAB التي يستخدم متحكم PI للتحكم بمحرك مصعد ذو تيار مستمر ومقارنته مع نظام التحكم المقترح FUZZY-PID وإظهار نتائج المقارنة [1].

هنالك العديد من الدراسات التي ناقشت تطبيق متحكم المنطق الضبابي ومتحكم PID على عمل محرك تيار مستمر، حيث قام مجموعة من الباحثين (JAYESH ET AL) في عام 2022 بمناقشة استخدام متحكمات PI و PID و FUZZY-PI للتحكم بسرعة محرك تيار مستمر، وبينت النتائج تفوق نظام FUZZY-PI، حيث قلل قيمة كل من التجاوز الأعظمي، وزمن الاستقرار، ولكنهم لم يتطرقوا إلى لحظة الإقلاع للمحرك والتغيرات العشوائية التي تحصل في بداية منحنى السرعة [2].

كما قام الباحثون أحمد وآخرون بضبط موضع محرك تيار مستمر باستخدام المتحكم FUZZY-PID بدلاً من المتحكمات الكلاسيكية PID، حيث أسهمت الخوارزمية الجديدة بتحسين أداء النظام المتمثل في تقليل زمن الصعود والتقليل من التجاوز الأعظمي [3].

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في تأمين الراحة للراكبين في المصعد عن طريق التقليل من الرعشة التي تحدث في بداية الإقلاع، الناتجة عن التغيرات العشوائية التي تحدث في بداية منحنى السرعة.

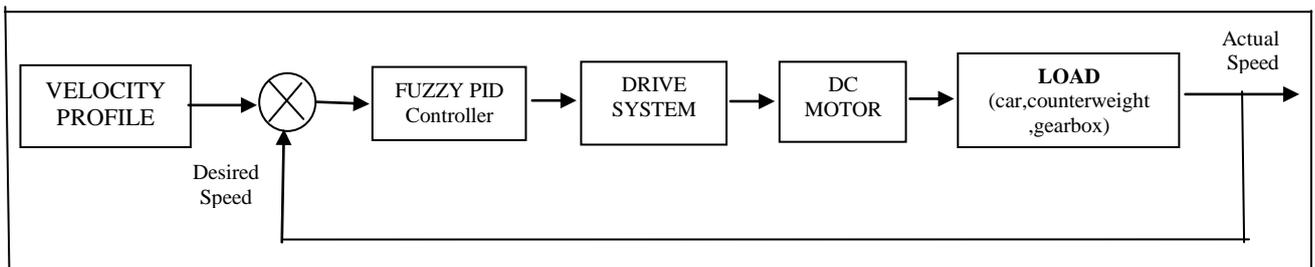
الغاية من البحث إنشاء نظام تحكمي قادر على العمل مع مختلف ظروف العمل والتحميل للمصعد بالتالي رفع كفاءته التشغيلية وإطالة العمر التشغيلي لمكوناته من خلال التقليل من التغيرات العشوائية التي تحدث في بداية الإقلاع، والتي تسبب تلف ملفات المحرك عند الاستخدام المتواصل.

طرائق البحث ومواده:

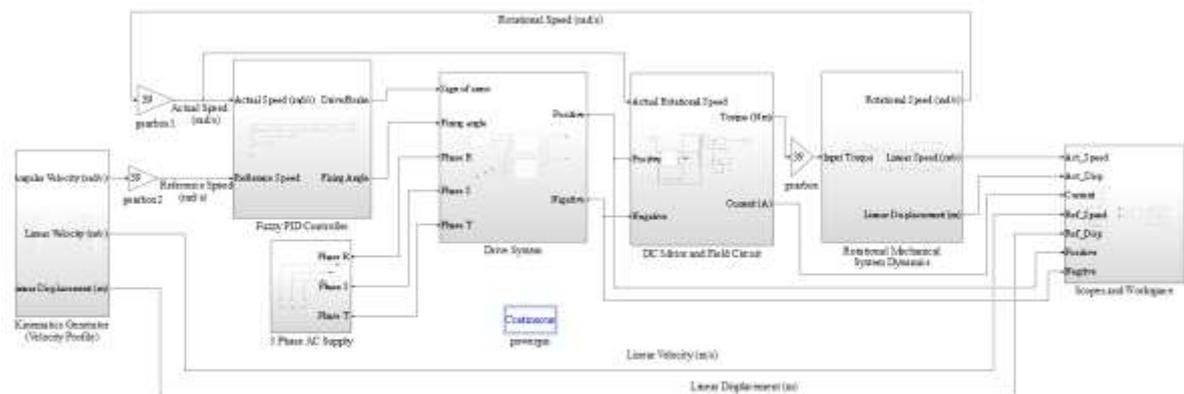
اعتمد البحث على إظهار أهمية استخدام المنطق الضبابي مع نظام PID لتحسين عمل متحكم PI مستخدم سابقاً في [1] لتشغيل مصعد كهربائي بمحرك تيار مستمر. تم استخدام بيئة MATLAB/SIMULINK لبناء كامل نموذج المصعد والحصول على النتائج.

1. نموذج المصعد في برنامج الـ MATLAB/Simulink:

تم استخدام برنامج MATLAB لبناء نموذج يحاكي المصعد بمختلف جوانبه من الناحية الكهربائية والميكانيكية والتحكمية حيث يوضح الشكل (1) المخطط الصندوقي لنظام التحكم، والشكل (2) النموذج العام للمصعد ذو محرك تيار مستمر باستطاعة 20 HP في بيئة MATLAB/SIMULINK.



الشكل (1): مخطط صندوقي لنظام التحكم المبسط.

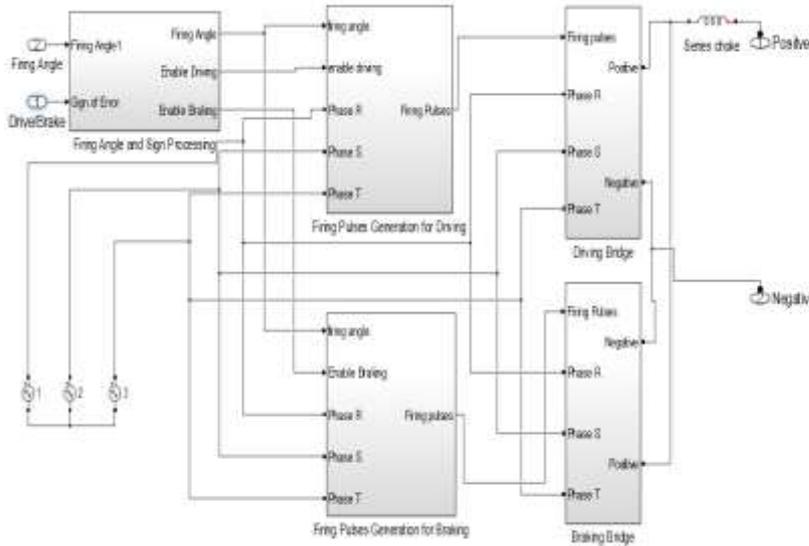


الشكل (2): نموذج المحاكاة للمصعد في بيئة MATLAB.

يتكون النموذج من أربع أجزاء كالتالي:

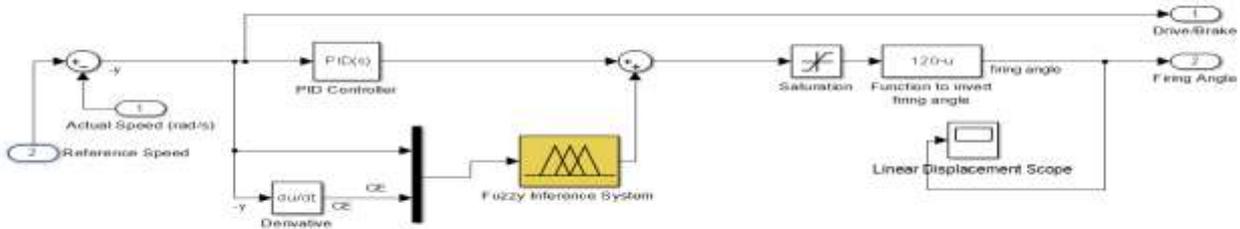
1- الجزء الإلكتروني والكترونيات القدرة: يحتوي على جسر قيادة المحرك مؤلف من ست ترانزستورات، وجسر للكبح، حيث يتم تحديد التحكم باتجاه الحركة عبر متحولين POSITIVE، NEGATIVE كل منهما يُفعل جسر القيادة

ويتم تحديد السرعة باستخدام القيم القادمة من المعوض، يتم إرسال أوامر التحكم بالسرعة باستخدام كتلة التحكم كما في الشكل (3) [1].



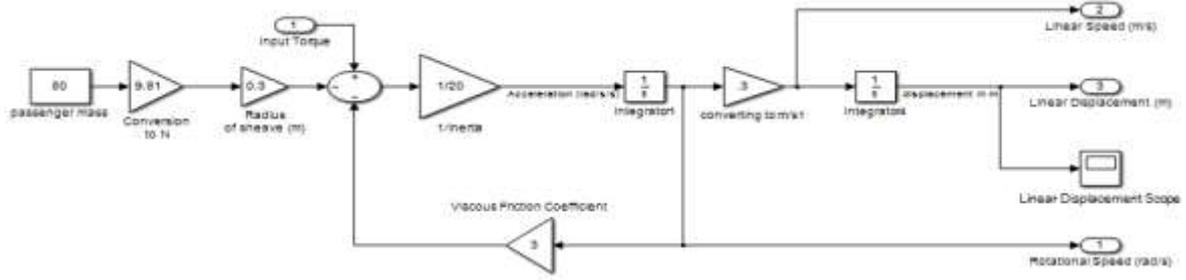
الشكل (3): القسم الإلكتروني.

2- نظام التحكم: تحتوي على جزء التحكم بحلقة مغلقة، حيث تكون إشارة الدخل عبارة عن الفرق بين السرعة الفعلية والسرعة المرجعية للحصول على إشارة الخطأ، ومن ثم يتم اشتقاق إشارة الخطأ للحصول على تغير إشارة الخطأ، ويكون دخل نظام التحكم هو إشارة الخطأ وتغير إشارة الخطأ. يتم تعويض إشارة الخطأ من قبل PID في حين يتم تعويض إشارة الخطأ وتغير إشارة الخطأ من قبل المتحكم الضبابي عن طريق ملف FIS وبالتالي سيتم تصحيح الإشارة من نظام هجين مما يحسن الاستجابة كما في الشكل (4).



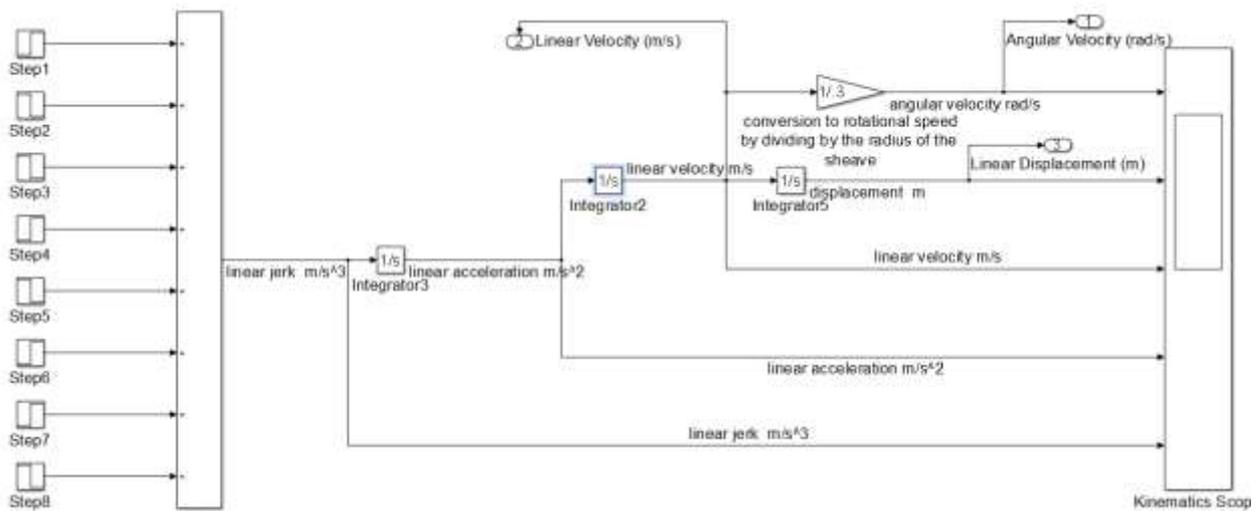
الشكل (4): نظام التحكم.

3- كتلة الجزء الميكانيكي: يتم فيها حساب عزوم العطالة للأجزاء الميكانيكية بالإضافة إلى حسابات أوزان الأشخاص، تم اعتبار وزن الشخص القياسي 80 كغ. يفيد الجزء الميكانيكي في تحليل إمكانية تحميل المصعد بأكثر من وزن كما في الشكل (5) [1,4].



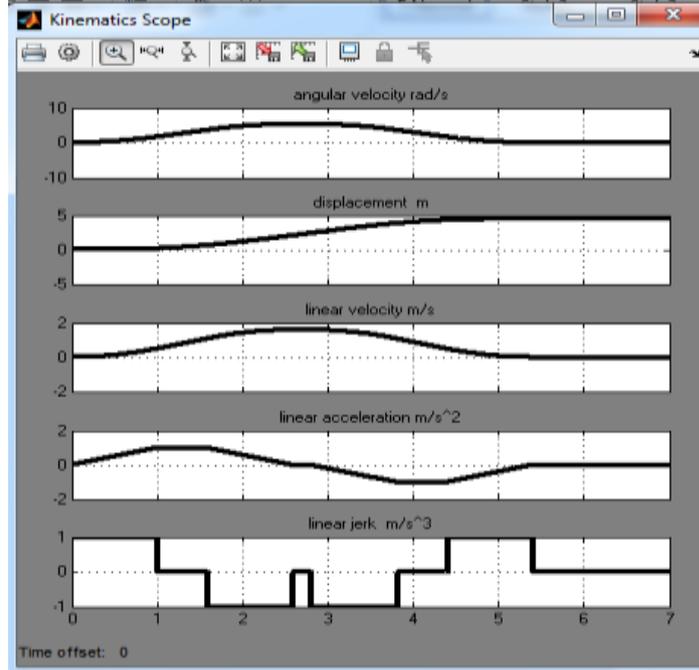
الشكل (5): الجزء الميكانيكي.

4 - جزء معادلات الحركة (Kinematics generator) للسرعة والعزم والتسارع : تفيد هذه الكتلة في الحصول على الإشارات المرجعية وقياس بارامترات الأداء من سرعة وإزاحة، أي يمكن اعتبارها كتلة التحسس الخاصة بالمصعد التي تقدم قراءات للمتحكم كما هو موضح بالشكل(6)، حيث صممت لتوليد إشارة مرجعية للسرعة للوصول لطابق واحد .[1,4](4.5 METER)



الشكل(6): كتلة Kinematics generator.

يبين الشكل(7) الإشارة المرجعية الناتجة من كتلة التحليل الكينماتيكي Kinematics generator للسرعة والمسافة والتسارع والارتجاج.



الشكل (7): الإشارات المرجعية الناتجة من كتلة التحليل الكينماتيكي.

تم إجراء الدراسة وفق القيم التالية: السرعة الخطية الأعظمية للمصعد 1.6 m/s ، التسارع الأعظمي 1 m/s^2 ، الارتجاج الأعظمي لعربة المصعد 1 m/s^3 .

تم تطبيق متحكم Fuzzy-PID على النظام وإظهار نتائج السرعة، ومقارنتها مع تطبيق متحكم PID و PI على نفس النظام، كما تم تطبيق أحمال مختلفة وإظهار النتائج.

2. نظام التحكم المستخدم (متحكم PID ، المنطق الضبابي):

لنظام التحكم إشارتي دخل هما إشارة خطأ السرعة وتغير خطأ السرعة نظام الاستدلال الضبابي هو sugeno حيث تم استخدام هذا الأسلوب في الاستدلال الضبابي نتيجة طبيعة التوابع الرياضية فيه التي تتناسب طبيعة الحمل الممثل بالمحرك، حيث تكون قيمة التيار المسحوب لحظة الإقلاع أضعاف قيمة التيار الاسمي، ومن ثم تتناقص، حتى يستقر سحب التيار. وبالتالي في حال استخدام توابع في نظام الاستدلال Mamdani، سنعاني من تغيرات سريعة وصددمات في تيار المحرك، إضافة إلى أنه يجب اختيار توابع عضوية للنظام الضبابي تكون تغيراتها سلسلة وبالتالي الحصول على استقرار أعلى.

1.2 توصيف مداخل النظام الضبابي المستخدم:

1.1.2 دخل إشارة الخطأ E: يحتوي تابعي عضوية من النوع الغاوصي كما هو مبين في الجدول (1) تم اختيار المجالات تجريبياً بما يتناسب مع البحث:

الجدول (1) : قيم توابع الانتماء الضبابية الخاصة بإشارة الخطأ

اسم التابع	بارامترات التابع
Negative	[-1 0.7]
Positive	[0.9 1]

2.1.2 تابع تغير إشارة الخطأ CE: يحتوي تابعين من النوع الغاوصي كما في الجدول(2)، حيث تم اختيار المجالات تجريبياً بما يتناسب مع البحث علماً أنه يجب أن يراعي مجال التوابع الحالات السالبة والموجبة في إشارة الخطأ وبالتالي أخذ كل الحالات.

الجدول (2): قيم توابع الانتماء الضبابية الخاصة بتغير إشارة الخطأ

اسم التابع	بارامترات التابع
Negative	[-1 0.7]
Positive	[0.7 1]

2.2 توصيف مخرج النظام الضبابي:

للنظام مخرج وحيد يحدد قيم زوايا القدر الخاصة بترانزستورات الجسر، ويكون للخروج ثلاث توابع تفعيل. حيث سيتم استخدام مبدأ العتبات لأن نتيجة النظام هي عبارة عن تصحيح وتقويم لأداء PID، ويجب أن يكون التصحيح سريع ويشمل مجالات من خرج PID كما موضح بالجدول(3) وهي توابع من نوع $y=const$ أي توابع عتبات. تم اختيار القيم تجريبياً بما يتناسب مع البحث كما يلي:

الجدول (3): قيم توابع الانتماء الضبابية الخاصة بخروج النظام

اسم التابع	نقاط التابع
Min	-1
Zero	0
Max	0.2

3.2 قواعد النظام الضبابي:

تم استخدام القواعد التالية في نظام التضبيب المستخدم بما يتناسب مع البحث:

1. If $|E|$ is Negative and $|CE|$ is Negative then $|u|$ is -1 (MIN).
2. If $|E|$ is Negative and $|CE|$ is Positive then $|u|$ is 0 (ZERO).
3. If $|E|$ is Positive and $|CE|$ is Negative then $|u|$ is 0 (ZERO).
4. If $|E|$ is Positive and $|CE|$ is Positive then $|u|$ is 0.2 (MAX).

4.2 متحكم PID:

يستخدم PID ثلاث أساليب لتصحيح الخطأ وتشكل مع بعضها قرار PID وهي كالتالي:

1. المتحكم التناسبي P، وميزاته أنه سريع الاستجابة ومسؤول عن تصحيح خطأ الحالة الحالية ولكن لا يلغي الخطأ [5].
2. المتحكم التكامل I، وميزاته أنه يلغي الخطأ ولكنه بطيء، ويعاني من مشاكل التأخير الزمني في صنع القرار عند تطبيقه في مجالات تتطلب تعويض سريع للخطأ، وبالتالي يسبب مشاكل تتعلق بزيادة زمن القرار، الأمر الذي قد يسبب وجود قرار خاطئ على عينات من الإشارة السريعة، ولكنه يكون قادر على إلغاء الخطأ لكونه يشنق إشارة الخطأ [6].

3. المتحكم التفاضلي D، ومميزاته أنه سريع الاستجابة، ويعاني منحنى الاستجابة الخاص به من التأرجح في الخرج كونه يعتمد على تغير إشارة الخرج، لا يلغي إشارة الخطأ، وتكون قيمته صفر في حالة إلغاء الخطأ لذلك يستخدم في عملية اكتشاف مقدار التحسين «معياري اكتشاف الدقة» [7].

1.4.2 معوض الـ PID المستخدم:

تم استخدام النموذج التفرعي للمعوض لتصحيح إشارة الخطأ، ومعادلته هي كالتالي [8]:

$$P + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}}$$

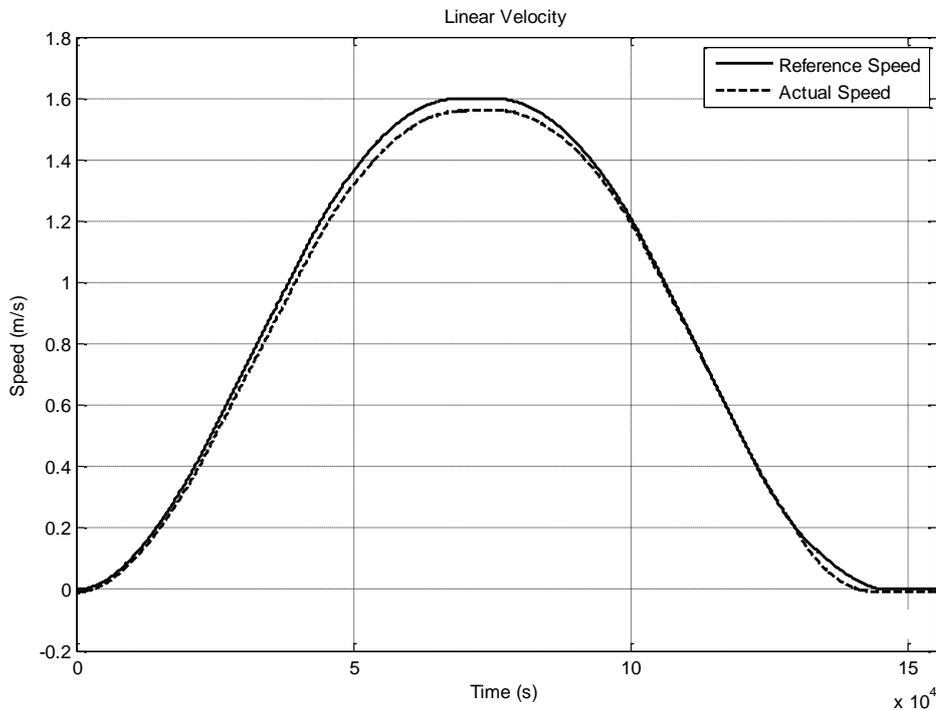
حيث P: المعامل التناسبي، I: المعامل التكاملي، D: المعامل التفاضلي، N: معامل التصفية. من أجل تعويض خطأ إشارة السرعة، تمت إضافة محدد مطالي من أجل تحديد خرج المعوض وتنسيبه إلى مجال التحكم بالسرعة المعلومة والذي سيكون بين [0 200] كقيم PWM تقنية تعديل عرض النبضة (Pulse Width Modulation) وبإعطاء القيم التالية للمعوض PID التي تم أخذها تجريبياً:

$$k_p=20, k_i=180, k_d=0.8$$

حيث K_p : ثابت الربح التناسبي، k_i : ثابت الربح التكاملي، k_d : ثابت الربح التفاضلي.

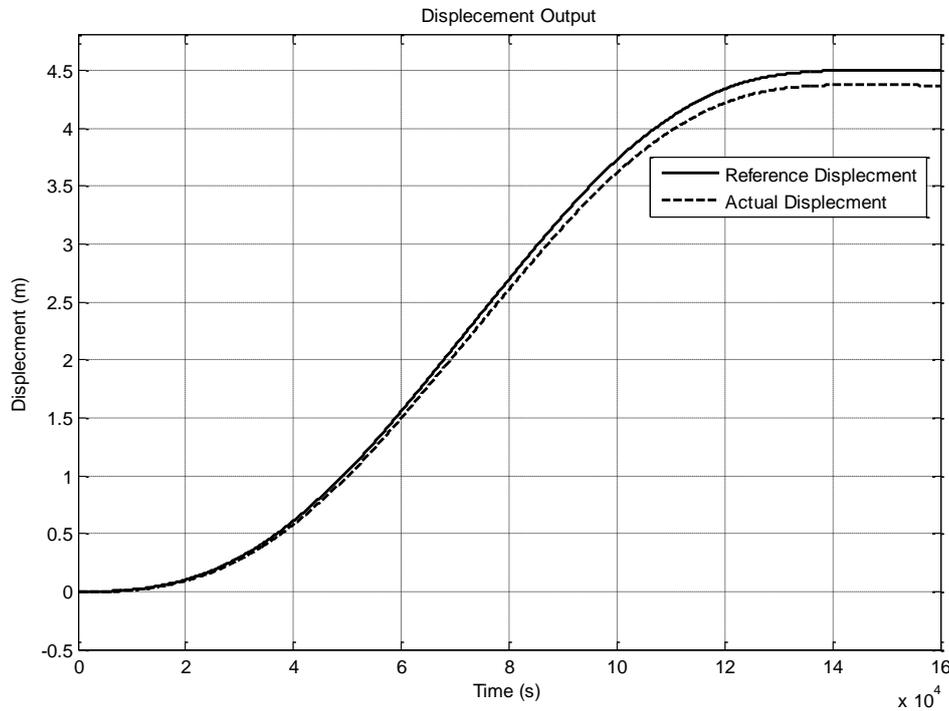
النتائج والمناقشة:

من أجل السرعة يوضح الشكل (8) النتائج بالمقارنة مع الإشارة المرجعية للسرعة:



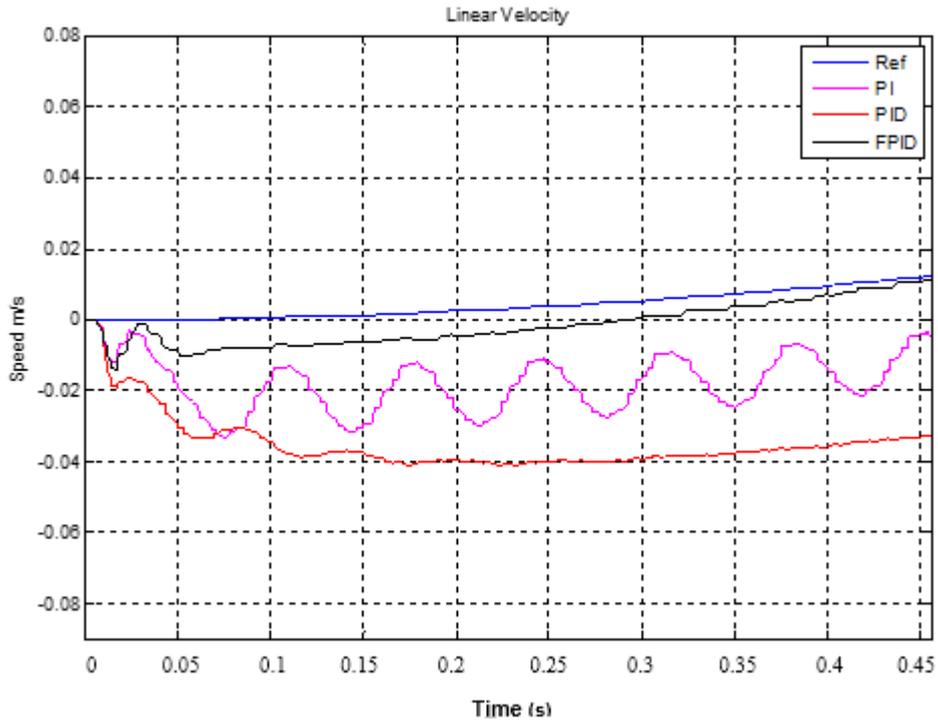
الشكل (8): منحنى الإشارة الفعلية للسرعة مقارنة مع الإشارة المرجعية للسرعة.

ومن أجل المسافة يبين الشكل (9) إشارة المسافة الفعلية مقارنة مع الإشارة المرجعية، مع ملاحظة وجود خطأ حوالي 0.13 m في مقدار المسافة الكلي، وهذا يعود إلى عدم الدقة في توقف المصعد.



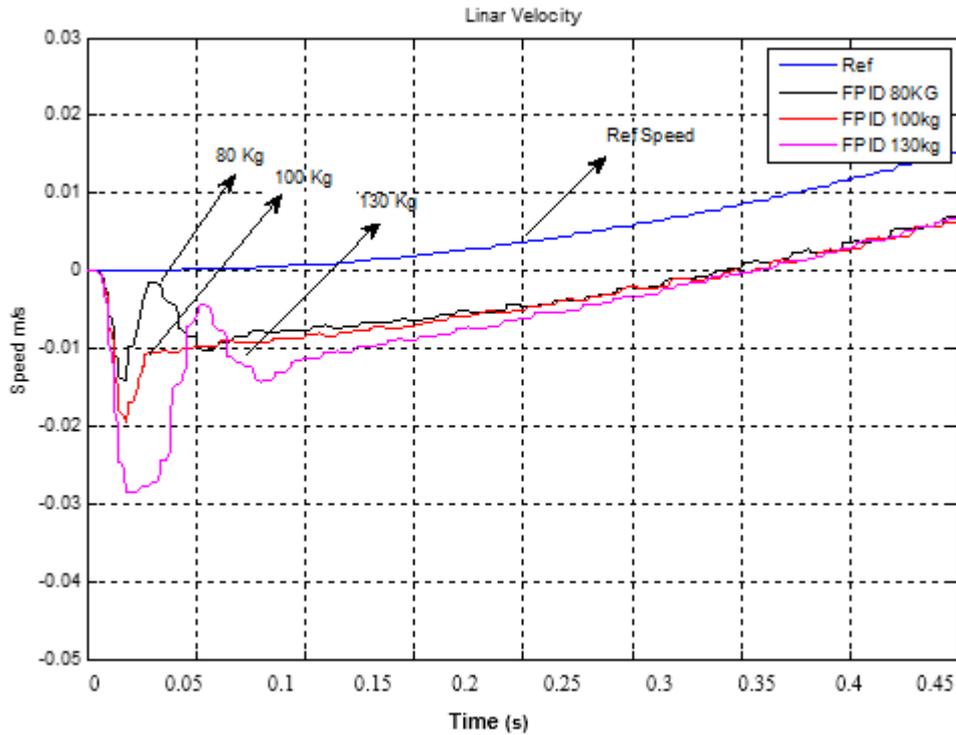
الشكل (9): منحنى الإشارة الفعلية للمسافة مقارنة مع الإشارة المرجعية للمسافة.

تم إجراء مقارنة على النتائج الزمنية بين الإشارة المرجعية للسرعة وبين السرعة الفعلية [5]. حيث من أجل النظام المحسن المستخدم لـ PID فقد استقرت التغيرات العشوائية عند القيمة 0.14 للزمن في حين كانت 0.65 sec في [1]، بالتالي تحسن الخرج بمقدار 78.4%، حيث بأخذ نتائج PID، Fuzzy PID، نلاحظ أن التغيرات العشوائية في بداية منحنى السرعة قد قلت عند استخدام النظام الضبابي مع المعوض PID حيث قل الزمن اللازم من 0.14 وحتى 0.02 sec وهذا يعني تحسن 85.7% بالنسبة لـ PID كما هو مبين في الشكل (10).



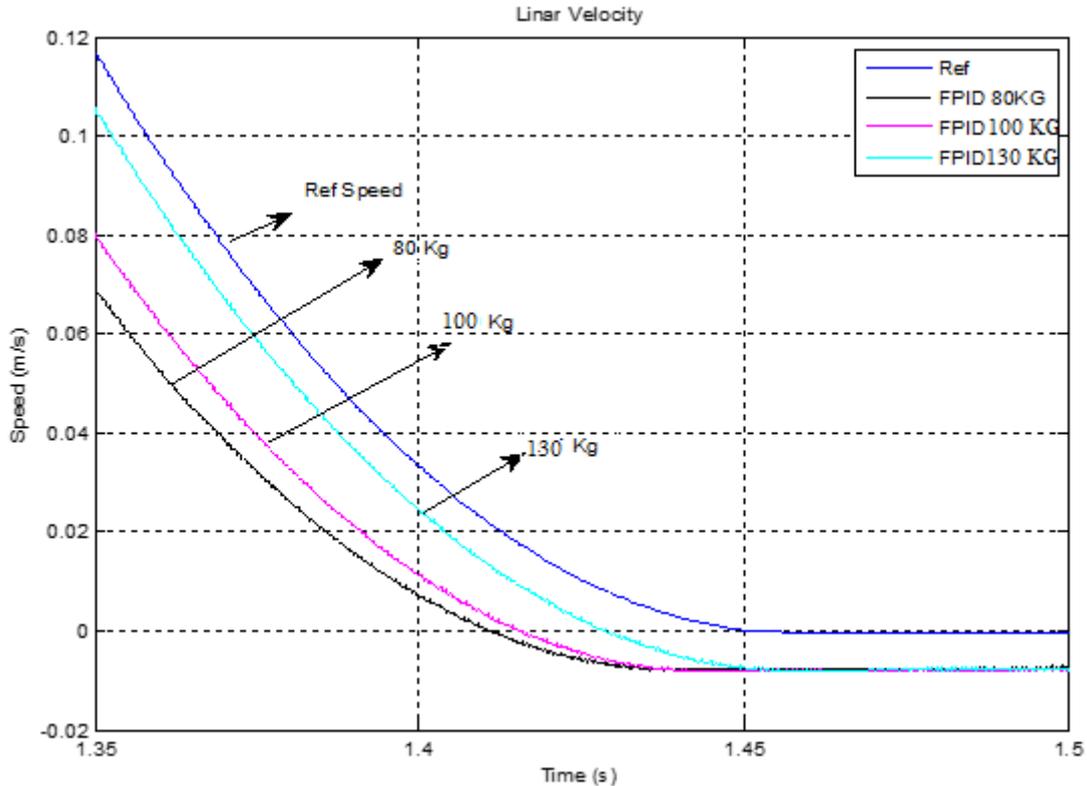
الشكل(10): منحنى الإشارة الفعلية للسرعة مقارنة مع الإشارة المرجعية عند تطبيق متحكمات مختلفة.

تم اختبار النظام من أجل أحمال مختلفة 80 ,100,130 Kg كما هو موضح بالشكل(11)، حيث نلاحظ التغيرات في بداية منحنى السرعة تزداد بازياد الكتلة أي العزم المعاكس لأن الحالة المأخوذة هي الصعود للأعلى، و تعود للاستقرار فمثلا عند الوزن 130 Kg استقرت الإشارة عند 0.08 sec .



الشكل (11): منحنى الإشارة الفعلية للسرعة مع الإشارة المرجعية للسرعة عند أحمال مختلفة.

لكن عند الوصول إلى الطابق المطلوب نلاحظ من الشكل أنه بزيادة الكتلة يظهر تحسناً بشكل الإشارة، حيث بلغت نسبة الخطأ %17.2 عند 130 Kg، في حين بلغت % 57.4 عند الوزن 80 Kg في منحنى السرعة، كما هو مبين بالشكل (12).



الشكل (12): منحنى الإشارة الفعلية للسرعة مع الإشارة المرجعية للسرعة عند الوصول للطابق المراد.

يبين الجدول (4) نتائج ونسبة التحسن لكل نظام على حدى في التقليل من التغيرات العشوائية التي تحدث في بداية منحنى السرعة عند الإقلاع:

الجدول (4) : نتائج ونسبة التحسن لكل نظام

	زمن استقرار التغيرات العشوائية في بداية منحنى السرعة (ثانية)	نسبة التحسن لكل خوارزمية عن سابقتها %
PI	0.65	--
PID	0.14	%72.3
Fuzzy PID	0.02	%85.7

الاستنتاجات والتوصيات:

من كل مما سبق نستنتج:

- تم التحكم بسرعة محرك مصعد ذو تيار مستمر باستخدام ثلاث متحكمات PI, PID, Fuzzy-PID، حيث بينت نتائج النمذجة تفوق المتحكم المقترح FUZZY-PID على نظام PID في التخفيف من التغيرات العشوائية في بداية منحنى السرعة بنسبة تجاوزت 85 %، وتفوقه (FUZZY-PID) على النظام PI بنسبة تجاوزت 96%.

2. تم تحسين بشكل الإشارة عند الوصول للطابق المراد، حيث بلغت نسبة الخطأ %17.2 عند 130 Kg.
3. النظام المقترح أكثر تعقيداً مما يتطلب استخدام معالجات أعلى سرعة في عملية التحكم.

كما نوصي بـ:

1. دراسة إمكانية إضافة شبكة عصبونية مع النظام السابق ولكن ذلك الأمر قد يرفع من تعقيد العمليات.
2. استخدام أساليب تحكمية أخرى مثل استخدام التحكم الشعاعي أو السلمي.

References:

- [1] L. Al-Sharif , T.Tutunji ,R.Kayfi " Using Elevator system modelling and simulation for integrated learning in mechatronics engineering " . In 15th International Workshop on Research and Education in Mechatronics (REM) ,p.p. 1-8, IEEE , September,2014.
- [2]J.Tripathi,K.Sharma, J.Rai, , "Speed Control Analysis of Brushless DC Motor Using PI, PID and Fuzzy-PI Controllers", International Journal of Electrical and Electronics Research. Vol(10),No.(3),p.p 470-474, 2022.
- [3] A. Amad , S. Abdullah , M. Ali , “Dc Motor Control Speed Using Fuzzy PID Controller “,sudan Uneiversity ,2017.
- [4] L. Al-Sharif , "Mechanical Drive Systems in Mechatronic Application" , Technical Report, The University of Jordan ,December 2016. DOI:10.13140/RG.2.2.15476.76163.
- [5] Ang, K. H., Chong, G., & Li, Y "PID control system analysis, design, and technology". IEEE transactions on control systems technology, Vol.13, No.4, p.p 559-576, 2005.
- [6]W.Torres,I. Araujo,J. Filho,A. Junior,"Mathematical Modeling and PID Controller Parameter Tuning in a Didactic Thermal Plant". IEEE Latin America Transactions, Vol.15, No.7, Pages: 1250 – 1256, 2017.
- [7] D.Xue, Y.Chen, D. P .Atherton,. "Linear feedback control: analysis and design with MATLAB". Society for Industrial and Applied Mathematics, 2007.
- [8] T. Wang, H. Wang, H. Hu, X. Lu, and S. Zhao" Using Simplified Swarm Optimization on Multiloop Fuzzy PID Controller Tuning Design for Flow and Temperature Control System", Appl. Sci, Vol.10, No.23, 8472, 2020, DOI :10.3390/app10238472.