

اعمال منطق فازی بر روی روبات تعمیر نیروگاه های هسته ای

سید کمال الدین موسوی مشهدی^{*}، امیر ترابی[†]، جمال قبادی دیزج یکان[‡]

چکیده

امروزه استفاده از روبات ها در صنعت بصورت چشم گیری افزایش یافته است. از جمله صناعی که به دلیل مخاطرات موجود در آن، به استفاده از روبات ها توجه زیادی شده است، صنایع هسته ای می باشد. علت این امر را می توان جلوگیری از تماس مستقیم فرد با تشعشعات هسته ای بیان نمود. تاکنون برای کنترل نمودن این ربات ها از روش های کنترلی تناسبی^۱، مشتقی^۲ و انتگرالی^۳ موسوم به PID استفاده شده است. این کنترل کننده به دلیل محدودیت های موجود در آن امر کنترل را در برخی از پروسه های پیچیده با محدودیت روبرو کرده است. در این مقاله برای کنترل پروسه به جای کنترل کننده PID از کنترل کننده فازی استفاده شده است. خروجی شبیه سازی شده را برای اثبات برتری کنترل کننده فازی نسبت به مشابه PID نمایش داده ایم. در ادامه مقاله کنترل کننده فازی براساس مدل رگرسیون مورد بررسی قرار گرفته شده است و شبیه سازی آن هم در بخش مربوطه به نمایش گذاشته شده است.

واژه های کلیدی

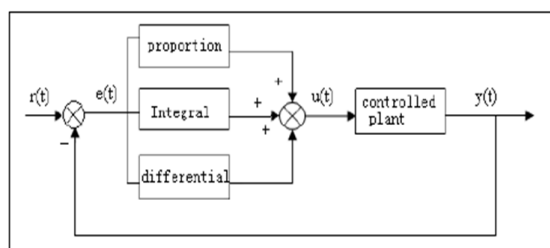
روبات هسته ای، رگرسیون، کنترل کننده فازی، کنترل کننده PID، منطق فازی

^{*} دانشکده مهندسی برق دانشگاه علم و صنعت ایران، Sk_Mousavi@iust.ac.ir

[†] موسسه آموزش عالی خراسان مشهد، Amirtorabil@gmail.com

[‡] موسسه آموزش عالی خراسان مشهد، Jamal_ghobadi@yahoo.com

۱- مقدمه



شکل ۱: خروجی کنترل کننده های مرسوم [2]

از شکل ۱ خروجی کنترل کننده $u(t)$ بصورت زیر محاسبه می گردد:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

۱-بخش تناسبی که برای بهبود سیگنال خطا استفاده می گردد.

۲-بخش انتگرالی که خطای حالت دائمی را کاهش می دهد. (جبران ساز پایین گذر به وسیله انتگرال گیر)

۳-بخش مشتق گیر که خطای حالت گذرا را کاهش می دهد. (جبران ساز بالا گذر به وسیله مشتق گیر) [1]

خطای کنترلر PID همچنان که می دانیم به صورت زیر محاسبه می شود:

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (2)$$

که در آن $e(t)$ برابر خطا، $r(t)$ مقدار مطلوب و $y(t)$ مقدار خروجی می باشد.

۳- ساختار فازی

طراحی کنترل کننده فازی بر اساس تجربه های کاری شکل می گیرد. در موارد بسیاری که مسئله توسط روش های سنتی حل نمی شود از تکنولوژی فازی استفاده می شود. تکنولوژی فازی به جهت آنکه روابط ریاضی پیچیده ای ندارد برای کنترل سیستم های غیر خطی، سیستم های غیر خطی و سیستم های دارای اغتشاشات زیاد عملکرد مناسبی دارد.

باتوجه به استفاده از ترکیبات مختلف اورانیوم و مواد سمی در تاسیسات چرخه سوخت هسته ای، لازم است کلیه ملاحظات ایمنی در مرحله طراحی در نظر گرفته شود تا از وقوع حوادث جلوگیری گردد. از آنجایی که تاسیسات چرخه ی سوخت هسته ای در دسته تاسیسات شیمیایی طبقه بندی می شود، نکات ایمنی آن مشابه سایر تاسیسات شیمیایی می باشد. بدیهی است کارکنان مشغول در این تاسیسات به واسطه امکان نشت مواد سمی، همواره در معرض خطر قرار دارند. [13]

یکی از راه هایی که بوسیله آن می توان خطرات تماس افراد را با نقاط وسازه های آلوده کاهش داد استفاده از روبات به جای انسان در این تاسیسات می باشد. روبات ها اکنون در بسیاری از مصارف صنعتی مورد استفاده قرار می گیرند. امروزه با پیشرفت صنعت در بسیاری از عرصه ها نیازمند دریافت جواب سریع و دقیق از روبات ها می باشیم، که روبات های سابق به دلایل مختلف از جمله استفاده از کنترلر PID به دلیل وجود لختی در آن در برخی موارد قادر به برآوردن این نیاز نیست در این مقاله برای رفع این مشکل ضمن ارائه مقدماتی از منطق فازی و نیز کنترلر PID به تشریح کامل کنترلر فازی و مزایای آن بر PID با استناد بر شبیه سازی می پردازیم.

۲- کنترل کننده PID

کنترل کننده های PID امروزه بصورت گسترده در بسیاری از مصارف صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد و در اکثر موارد هم دارای پاسخ قابل قبول می باشد. این کنترل کننده دارای سه بخش تناسبی، انتگرالی و مشتقی می باشد. در زیر نمایش بلوک دیاگرام آن نشان داده شده است.

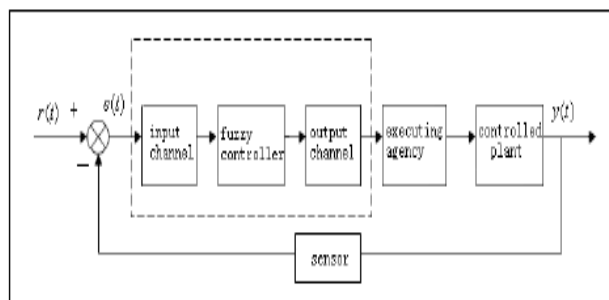
۴- روبات فازی

از جمله مباحثی که در علم رباتیک بسیار مورد توجه قرار می گیرد، کنترل ربات مخصوصاً به منظور تعقیب مسیرهای از پیش طراحی شده است.

به لحاظ پیچیدگی ساختار و دینامیک غیرخطی، و به دلیل وجود اصطکاک استاتیکی و گشتاورهای اغتشاشی و تغییرات شدید پارامترهای مدل ربات و همچنین امکان انجام کار در شرایط مختلف و مسیرهای متفاوت، کنترل ربات امری بس پیچیده و دشوار است. از این رو روشهای کنترلی متفاوتی ارائه گردیده که هر کدام دارای مزایا و معایبی مخصوص به خود هستند. یکی از روشهای کنترلی که طی دو دهه اخیر توسعه شگرفی را در کنترل سیستمهای پیچیده و غیرخطی داشته، کنترل فازی است. کنترل کننده های فازی دارای دو مزیت اساسی می باشند، یکی آنکه این کنترل کننده ها به مدل سیستم حساس نیستند و به چگونگی رابطه ورودی-خروجی سیستم تا حد زیادی غیر وابسته اند، و دیگر آنکه دارای ساختار بسیار ساده ای بوده و به سهولت قابل پیاده سازی اند. از آنجا که حرکات ربات های هوشمند در پیست مسابقه وابستگی بسیار شدیدی به نوع برنامه و نیز شرایط پیست دارد، لذا با تدوین قوانین بسیار دقیق فازی می توان از انحراف آنها جلوگیری نمود، بطوری که گوئی توسط انسان هدایت می شوند. از این رو تجربیات شخص از طریق منطق فازی جهت عملکردی نه منطقی تر بلکه شبه انسانی تر به ربات اعمال شده، که این همان چیزی است که بشر برای تکامل هوش مصنوعی در پی دارد. [12]، [13]

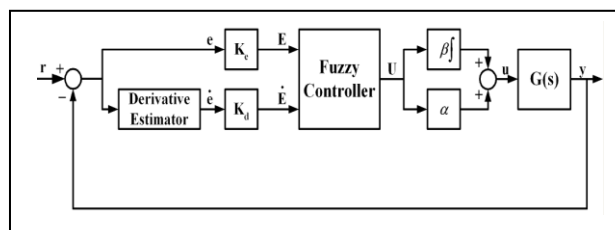
هم اکنون روباتی در حال ساخت است که بتواند کارهای خاص را در رآکتور هسته ای انجام دهد. این روبات که IRIS (Industrial Remote Inspection System) نام دارد یک سیستم بازرس ی همه منظوره است که می

ساختار اصلی سیستم کنترل فازی در در شکل ۲ نشان داده شده است. که دارای کانال ورودی، کنترل کننده فازی و کانال خروجی می باشد که در حقیقت هسته اصلی سیستم همان کنترل کننده فازی می باشد. [2]



شکل ۲: ساختار اصلی کنترل کننده فازی [11]

ساختار کنترل کننده فازی که دارای دو ورودی و یک بانک قواعد می باشد در شکل ۳ نشان داده شده است. طراحی کنترل کننده فازی PID دارای دو قسمت است. بخش اول مربوط به تنظیم قسمت غیر خطی و بخش دوم مربوط به تنظیم ضرائب بر اساس قسمت خطی سیستم می باشد. قوائد اشاره شده در این مقاله باعث به دست آوردن خواص و مشخصات بهتر نسبت به ساختارهای فازی PID مرسوم شده است. [7]

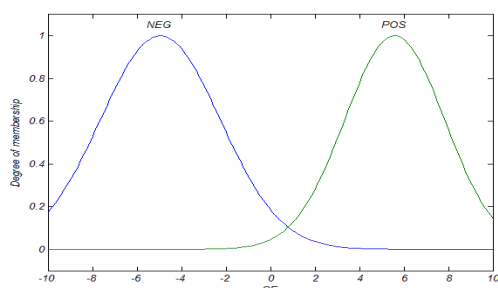


شکل ۳: ساختار کنترلر فازی به همراه دو ورودی خطا و تغییرات آن [2]

نسبت بین دو ورودی K_e و K_d را α و نسبت بین دو گین K_0 و K_I به عنوان β تعریف می شود. [3] همانطور که ملاحظه می گردد کنترل کننده فازی در این مقاله دارای ضرایب بیشتری نسبت به کنترل کننده PID می باشد.

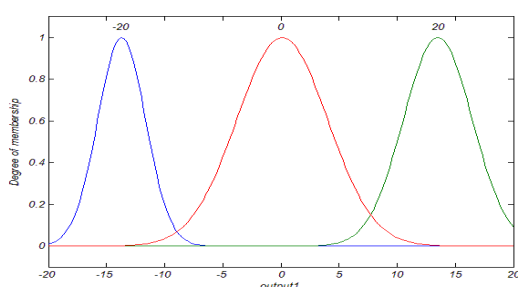
از آنجا که کنترل کننده های غیر خطی عملکرد غیر خطی دارند تنظیم پارامترهای آن نسبت به کنترل کننده PID مشکل تر است. [6]

در شکل 4 این ورودی ها که تقریباً یکسان اند آورده شده است. همانطور که مشاهده می گردد توابع عضویت ورودی و خروجی به شکل گوسی می باشد.



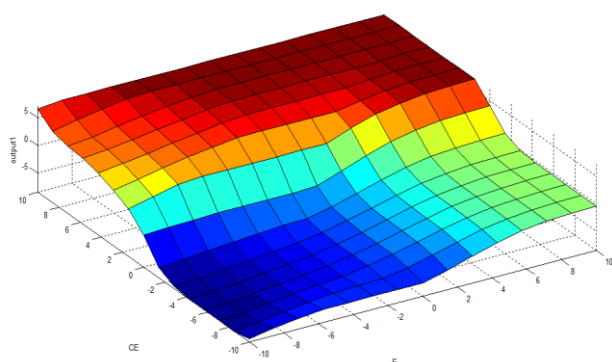
شکل 4: توابع عضویت ورودی

در نهایت توابع عضویت خروجی هم بصورت زیر می باشد. (شکل 5)



شکل 5: توابع عضویت خروجی

آخرین بخش قسمت فازی نمایش سطح surface این کنترل کننده می باشد که در شکل 6 نشان داده شده است. لازم به ذکر است توابع عضویت فوق برای نشان دادن surface زیر مورد تغییر قرار گرفته اند.



شکل 6: نمای surface خروجی

تواند عملیات واریسی خاصی را با انگیزه کم کردن زمان در معرض تابش قرار گرفتن انسان ها انجام دهد.

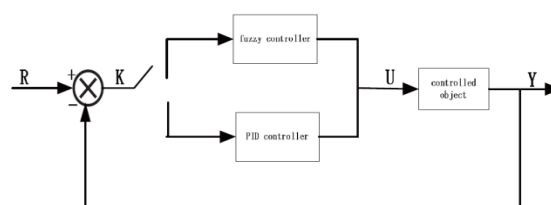
کاربردهای روبات در تعمیر و نگهداری نیروگاه های هسته ای پیشرفت های زیادی داشته است. تاکنون این کاربرد ها عمدتاً در بازپرداش سوخت و حمل و نقل زباله ها بوده است. اکنون کاربرد روبات ها در بررسی آلودگی، تعمیر راکتور، زدودن آلاینده ها و فعالیت های اضطراری شروع شده است. [5]

این پیشرفت ها امکان کاربرد وسائل کنترل ازدور برای کاهش زمان در معرض تابش قرار گرفتن انسان ها و بهبود برنامه های تعمیر و نگهداری را فراهم کرده است. [4]

5- قواعد فازی

همانطور که می دانیم تاخیر در سیستم های کنترلی و کنترل کننده های PID اثر بسیار نامطلوبی برجای می گذارد. نوع سیستم به لحاظ مکانیکی در این روبات به گونه ای طراحی شده است که نه تنها در مسیر مستقیم بلکه در مسیر فید بک هم دارای تاخیر می باشد.

عامل فوق باعث می شود که کنترل کننده های مرسوم در برابر کنترل این پروسه ناتوان باشند. لذا در این حالت (با توجه به موارد یاد شده در فوق، که زمان استفاده از کنترل کننده فازی را مشخص می کرد) بهترین گزینه را در استفاده از کنترل کننده های فازی می بینیم.



شکل 7: کلید هیبرید برای انتخاب آزادانه کنترل کننده فازی یا PID [10]

همانطور که می دانیم برای فازی سازی نیازمند ورودی ها و خروجی هایی می باشیم که همانطور که اشاره شد ورودی ها شامل $e(t)$ و $\dot{e}(t)$ می باشد.

۶- رگرسیون:

بین این دو حد، بیانگر اطمینان تخمین است. به عبارت دیگر مدل های رایج رگرسیون، ساختار احتمالی دارند. در حالی که در رگرسیون فازی، اختلاف بین مقادیر پیش بینی و مشاهده شده ناشی از ابهام ذاتی در سیستم است. مقدار خروجی برای ورودی های مشخص دامنه مقادیر ممکن فرض می شود. بنابراین در رگرسیون فازی، امکان پذیرش مقدار خروجی با توجه به مقادیر متغیرهای ورودی بررسی می شوند. یک مدل عمومی رگرسیون خطی فازی به شرح زیر است:

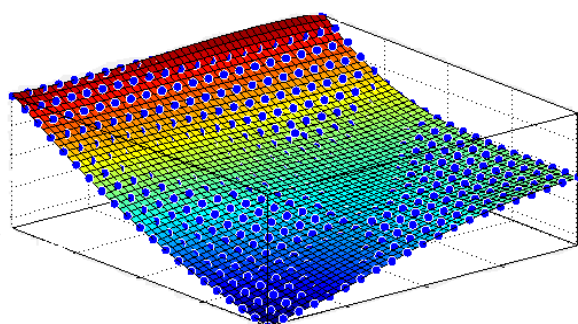
$$\tilde{Y} = f(x, \tilde{A}) = \tilde{A}_1 x_1 + \dots + \tilde{A}_n x_n \quad (5)$$

به طوری که \tilde{A}_i عدد فازی i امین است.

رگرسیون فازی یک دامنه مقادیر ممکن را با یک تابع عضویت پیش بینی می کند. توابع عضویت با تخصیص درجه های عضویت مشخص، به مقادیر پیش بینی شده شکل می گیرند. همچنین توابع عضویت برای ضرایب متغیرهای مستقل نیز تعریف می شوند.

۹- نتایج رگرسیون فازی کنترلر فازی:

در شکل ۸ براساس موارد ذکر شده در مورد رگرسیون، surface کنترلر فازی نشان داده شده است.



شکل ۸: نمای مربوط به surface رگرسیون فازی

تابع عضویت متغیر خروجی رگرسیون به صورت ذیل به دست می آید:

$$\tilde{Y}_\mu(y) = \begin{cases} \max(\min_i(\mu_{\tilde{A}}(\alpha)), \{a | y = f(x, y)\}) & \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

اگرچه مدل رگرسیون خطی کلاسیک کاربردهای بسیار زیادی دارد متنها مشکلاتی نیز در استفاده از این مدل مثل بی دقتی و خطا با فرض خطی بودن، ابهام در رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی، ابهام در وقوع یا درجه وقوع رویدادها و... می تواند ایجاد شود، بنابراین تحلیل رگرسیون آماری می تواند مشکل ساز باشد. لذا این شرایط ما را به سمت استفاده از تحلیل رگرسیون فازی سوق می دهد.

۷- مدل رگرسیون فازی کنترل کننده

تحلیل رگرسیون با مدل کردن رابطه بین متغیرهای وابسته و متغیرهای مستقل جهت پیش بینی مقادیر متغیرهای وابسته بر اساس متغیرهای مستقل بکار می رود. در تحلیل رگرسیون متغیر وابسته (y) تابعی از متغیرهای مستقل است و درجه مشارکت یا نقش هر متغیر مستقل در خروجی (متغیر وابسته) توسط ضرایب متغیرها بیان می شود. مدل رگرسیون بر اساس داده های جمع آوری شده و مشاهدات ساخته می شود که مدل عمومی و استاندارد رگرسیون خطی در حالت کلاسیک بصورت زیر است:

$$y_i = \alpha_0 + \alpha_1 x_{i1} + \dots + \alpha_n x_{in} + \varepsilon_i \quad (3)$$

به طوریکه متغیر وابسته (y_i)، متغیرهای مستقل (x_{ij}) و

پارامترهای مدل مستقل (α_i)، مقادیر قطعی هستند و همین

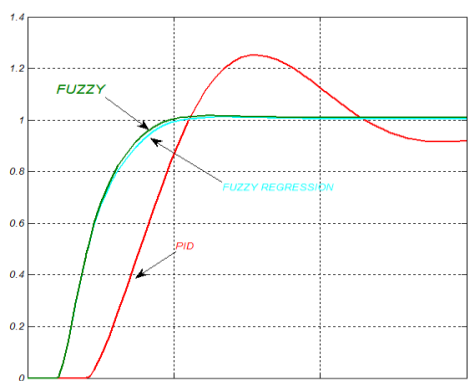
طور ε_i خطای تصادفی مدل رگرسیون است بطوریکه:

$$\begin{aligned} E(\varepsilon_i) &= 0 \\ V(\varepsilon_i) &= \delta^2 \end{aligned} \quad (4)$$

۸- مدل رگرسیون فازی

در روش های رایج رگرسیون، تفاوت بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش بینی شده توسط مدل، خطای پیش بینی بوده و یک متغیر تصادفی فرض می شود. حد بالا و حد پایین مقدار محاسبه شده و احتمال قرار گرفتن مقدار پیش بینی در

نشان می دهد و منحنی که به رنگ نیلی است مربوط به مدل فازی رگرسیون می باشد.



شکل ۷: خروجی اسیلوسکوپ مربوط به شکل ۸

۱۱- نتیجه گیری

در این مقاله سعی بر آن نمودیم که منطق فازی را بر روی روبات های فعال در نیروگاه های هسته ای که کمتر از این منطق پر کاربرد بهره جسته اند پیاده سازی کنیم. گرچه این روبات همانطور که در شکل نشان داده شده دارای دو تاخیر در مسیر رفت و فید بک بوده است ولی پاسخ فازی بسیار مطلوبی (بدون اورشوت و تاخیر کمتر در شروع نسبت به کنترل کننده مشابه PID) می باشد که دو مزیت ذکر شده در کار حساسی چون نیروگاه هسته ای بسیار مورد توجه قرار گرفته و مطلوب است.

مراجع:

- [1] Isin Erenoglu, & Ibrahim Eksin an intelligent hybrid fuzzy PID controller proceedings 20th European conference on modeling, Alessandra Orsoni, 5, 2006
- [2] Onur KARASAKAL & Turk J Elec Engin, Implementation of a New Self-Tuning Fuzzy PID Controller on PLC, VOL.13, TURKEY, NO.2 2005,
- [4] R.C. Dorf, the encyclopedia of robotics, John Wiley & sons, New York, 1988
- [5] K. Ogata, modern control systems, Prentice Hall, 9th ed. 2001
- [6] Jan Jantzen, Tuning of Fuzzy PID, Controllers Technical University of Denmark, Department of Automation, 30 Sep 1998
- [7] Man, and Cybernetics, Analysis of Direct Action Fuzzy PID Controller Structures, IEEE Transactions on systems June 1999
- [8] Y. Yang, Jinan A New Type of Adaptive Fuzzy PID controller, IEEE China 2010,

پارامترهای فازی \tilde{A} می توانند به صورت بردار $\tilde{A} = \{p, c\}$ نشان داده شوند بطوریکه داریم:

$$P = (P_1, P_2, P_3, \dots, P_n) \quad (7)$$

$$C = (C_1, C_2, \dots, C_n)$$

بجایگذاری معادلات (۶) در (۷) خواهیم داشت:

$$\mu_{\tilde{Y}}(Y) = \begin{cases} 1 - \frac{|y - \sum_{i=1}^n p_i x_i|}{\sum_{i=1}^n c_i |x_i|} & x_i \neq 0 \\ 1 & x_i = 0, y = 0 \\ 0 & x_i = 0, y \neq 0 \end{cases} \quad (8)$$

معادله خطی مربوط به این کنترلر عبارتست از:

$$F(X, Y) = P_0 + P_1 X + P_2 Y + P_3 X^2 + P_4 X \times Y + P_5 Y^2 \quad (9)$$

مقادیر عددی ضرایب فوق عبارتند از:

$$P_0 = -2.274$$

$$P_1 = 0.7739$$

$$P_2 = 2.943$$

$$P_3 = -0.59$$

$$P_4 = -1.291$$

$$P_5 = 1.196$$

لازم به ذکر است در مدل فوق ضرایب Y و X هر دو تا توان دو مورد بررسی و شبیه سازی قرار گرفته اند.

در نهایت خطاهای R-square (میانگین مربع ریشه ها) و RMSE (انحراف معیار) عبارتند از:

$$R \text{ square} = 0.8848$$

$$RMSE = 0.6855$$

۱۰- نتایج شبیه سازی:

کنترل کننده ای که برای این سیستم در حالت PID در نظر گرفته شده است به صورت زیر است:

$$G_c(s) = \frac{s+1}{s+0.05}$$

لازم به ذکر است شبیه سازی های انجام شده در شکل

های ۷ و ۸ در محیط مطلب و simulink انجام گرفته است.

در شکل ۷ خروجی این سیستم به ازای کنترل کننده فازی و PID نشان داده شده است. منحنی قرمز رنگ خروجی را به ازای کنترل کننده PID و منحنی سبز به ازای کنترلر فازی

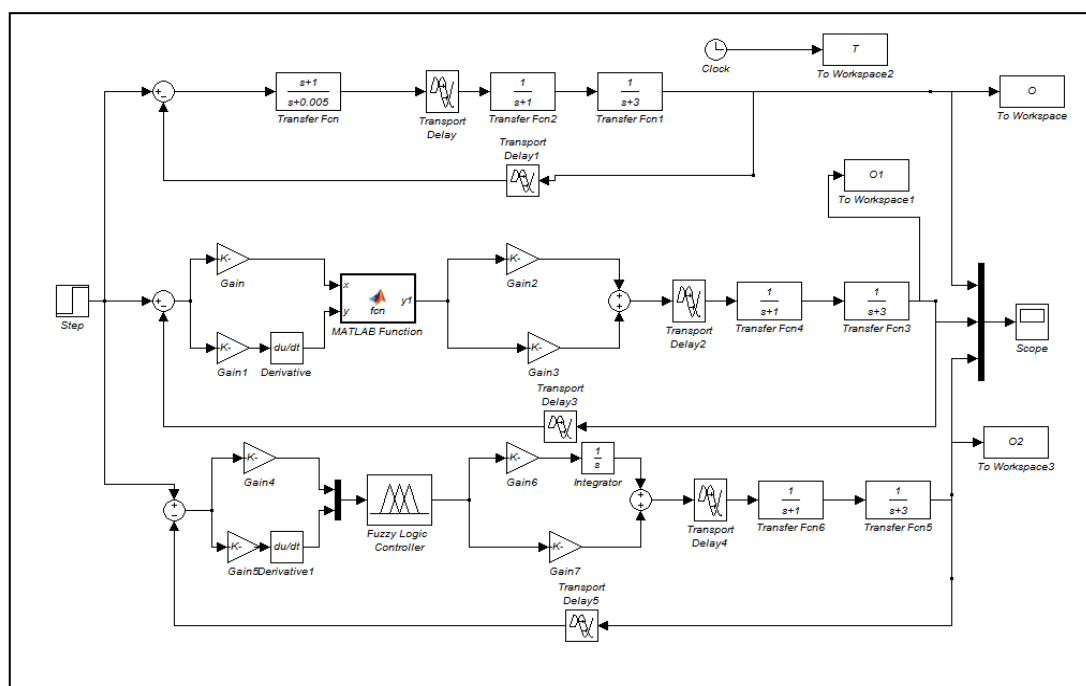
[۱۱] بارت کاسکو، تفکر فازی، ترجمه علیرضا پورممتاز، علی اکبر غفاری صفت، عادل مقصودپور، جمشید قسیمي، ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

[۱۲] بی نام، پایان نامه ربات خط یاب با کنترل فازی، پایان نامه کارشناسی / کارشناسی ارشد

[۱۳] آرمین طاهری و احدفریدونی، مجله مدیریت ایمنی و مهندسی هسته ای شرکت متسا، جوانب ایمنی در تاسیسات هسته ای، سال هفتم شماره ۲۶

[9] HuiWang&YuanyuanBao& H Wang Fuzzy-PID Dual Mode Fuzzy Control Of The Electro-hydraulic Deviation Control System,. College of Mechanical Engineering, IEEE 2010

[10] Yanhong Zhang, Zhongqiao Zheng, Jiansheng Zhang, *Research on the parameters self-tuning fuzzy PID controller*.1. School of Electronic Information IEEE – 2009



شکل ۸: شبیه سازی کنترل کننده روبات در سه حالت فازی و PID و رگرسیون فازی