

## طراحی و پیاده سازی کنترل کننده PID فازی برای اکسترودر واحد پلی اتیلن سبک خطی

### در PLC زیمنس

محمد ابراهیم ایزدی پور

دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر

سید عنایت اله تقوی مقدم

دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر

#### چکیده

از کنترل کننده های PID امروزه به طور گسترده برای کنترل فرآیندها در صنایع و به خصوص صنعت پتروشیمی استفاده می شود. در این کنترل کننده ها، طراح از ضرایب ثابت تناسبی، مشتق گیر و انتگرالی استفاده کرده و با توجه به شرایط فعلی فرآیند، این ضرایب را تنظیم می کند تا سیستم زمان صعود، زمان نشست، میزان بالازدگی و در نتیجه پایداری مطلوبی داشته باشد. با توجه به شرایط محیطی، اغتشاشات و فرسودگی تجهیزات، به مرور زمان و مدتی بعد از طراحی اولیه کنترل کننده و تنظیم ضرایب کنترلی، در بعضی موارد کنترل فرآیند به درستی صورت نمی گیرد؛ و زمان نشست، میزان بالازدگی و در نتیجه پایداری سیستم مطلوب نبوده و نیاز به اصلاح ضرایب دارد. بنا به دلایل ذکر شده، طراحی یک کنترل کننده هوشمند، با قابلیت های بیشتر و سازگارتر با شرایط خاص فرآیند و تجهیزات احساس می شود. به همین منظور، کنترل کننده ای طراحی شده که با بهره گیری از منطق فازی سعی در تغییر ضرایب کنترلی PID داشته؛ و این ضرایب را متناسب با شرایط و در طول کنترل فرآیند، به سیستم اعمال نموده تا کنترل بهینه تر و مطلوب تری صورت گیرد. طراحی این کنترل کننده با استفاده از نرم افزار ++Fuzzy Control انجام شده است. این نرم افزار از طریق کانال ارتباطی SimaticNET با نرم افزار Siemens Step7 که شامل برنامه اصلی کنترل کننده PID کلاسیک است، ارتباط داشته و نتایج به صورت گرافیکی در نرم افزار WinCC Explorer نمایش داده می شود. در پایان از مقایسه کنترل کننده های PID کلاسیک با کنترل کننده های PID فازی طراحی شده، زمان نشست، بالازدگی و پایداری بهتری را مشاهده شد.

واژگان کلیدی: کنترل کننده PID، کنترل کننده فازی، منطق فازی، جدول قواعد، تابع عضویت

## مقدمه

منطق فازی اولین بار توسط آقای پروفسور لطفی زاده در مقاله ای به نام "مجموعه های فازی" [1] در سال ۱۹۶۵ معرفی گردید. پروفسور لطفی زاده به این نتیجه رسید که عباراتی نظیر "درست و نادرست"، "خاموش و روشن" یا "بلی و خیر" در دنیای واقعی برای خیلی از موقعیت ها نمی توانند کافی باشد و به همین دلیل نظریه مجموعه های باینری کلاسیک (بلی /خیر) را با مجموعه های فازی گسترش داد. از این زمان بود که منطق فازی پدید آمد. متعاقب آن در سال ۱۹۷۳ برای اولین بار پروفسور ممدانی از منطق فازی برای کنترل فرآیندها استفاده کرد؛ که منجر به توسعه کنترل فازی به عنوان شاخه ویژه ای از نظریه فازی گردید [2]. از طرفی مجموعه های فازی و کاربردهای فازی برای بیان منطق فازی استفاده می شود. از جمله کاربردهایشان استفاده در کنترل کننده های فازی است [3][4].

در سال ۱۹۷۸ شرکت "دانش، اف. ال. اسمیت" (Danish) توانست کوره سیمان را به روش فازی کنترل کند. این اولین کاربرد صنعتی منطق فازی بود. منطق فازی به طور گسترده ای در ژاپن رونق گرفت و تحقیقاتشان نه تنها به صورت تئوری نبود؛ بلکه بیشتر جنبه کاربردی داشت. در پایان دهه هشتاد میلادی منطق فازی فراگیر شده و رشد زیادی کرده بود. و استفاده از آن در محصولات نظیر ماشین لباسشویی، دوربین های عکاسی و فیلمبرداری زیاد شده بود. از کاربردهای صنعتی در آن زمان میتوان به دستگاههای تصفیه آب، جرثقیل های حامل کانتینر در بندرگاه ها، سیستم های تهویه در زیرزمین ها اشاره کرد. در نهایت کاربردهای منطق فازی در زمینه امور مالی و حتی پزشکی نیز وسعت یافت. از سال ۱۹۹۰ به بعد، کاربردهای زیادی از منطق فازی در آلمان و به همان میزان نیز در آمریکا مشاهده شد [5].

مایلوگانان و راجسوار [6] منطق فازی را برای دسته بندی بیماری فشار خون بالا پیشنهاد کردند. اکونگ و همکاران [7]، دجام و همکاران [8] و شارما و همکاران [9]، سیستم های فازی را برای تشخیص بیماری مالاریا پیشنهاد کردند. چاندرا [10] یک سیستم فازی برای تحلیل و تشخیص میگردن پیشنهاد کرد. چندین مدل استنتاج فازی مانند کومار [11]، عادل و نشاط [12]، کومار و کاتور [13]، کاسبه و پیپال [14]، الله وردی و همکاران [15]، اواد و همکاران [16] و سابولاکشمی و همکاران [17] برای تشخیص بیماری های قلبی پیشنهاد شده است. تعدادی مدل استنتاج فازی برای تشخیص سرطان پیشنهاد شد [18]. مانند کلس و همکاران [19]، بالانیکا و همکاران [20] و لاتا و همکاران [21] برای تشخیص سرطان سینه، لاوانیا و همکاران [22] برای تشخیص سرطان ریه و ساریتاس و همکاران [23] برای تشخیص سرطان پروستات. کله و همکاران [24] رویکردی مبتنی بر منطق فازی برای تشخیص بیماری در محصولات زراعی ارائه کردند.

کاربردهای کنترلی از جمله مواردی هستند که منطق فازی بیشترین موفقیت را در آنها داشته است. بسیاری از تولیداتی که امروزه از آنها استفاده می کنیم دارای کنترل فازی هستند. و با وجود اینکه کنترل فازی در حال حاضر استاندارد در صنعت است، آموزش این موضوع در مراکز دانشگاهی هنوز به شیوه مطلوبی صورت نمی گیرد. اما با توجه به موفقیت های منطق فازی در زمینه هایی که کنترل کلاسیک کارا و موثر نبوده است نگاه ها به کنترل فازی تغییر کرده است. کنترل فازی به عنوان یک فن آوری در حال توسعه می تواند قابلیت های اتوماسیون صنعتی را بالا ببرد. و عمدتاً "برای کاربردهای کنترلی در PLC مناسب است [25]. نسل جدید کنترل کننده

های فازی بر اساس ادغام کنترل کننده های کلاسیک و کنترل کننده های فازی بنا شده است. یک کنترل کننده فازی اغلب اوقات راحت تر از یک کنترل کننده کلاسیک طراحی می شود، مخصوصاً اگر طراح، فیزیک آن سیستم را به خوبی درک کند [26].

با توجه به اینکه ریاضیات مرسوم و نظریه کنترل کلاسیک اغلب شرایط مبهم و متناقض را در نظر نمی گرفت، بنابراین نظریه سیستم های کنترل کلاسیک به بررسی، فرمول بندی، تجزیه و تحلیل و کنترل سیستم های فازی نمی پرداخت. این سیستم ها به سبب اینکه شاید مبهم، ناقص و حتی ناپایدار بوده و به صورت زبانی شرح داده می شدند مورد توجه قرار نمی گرفتند. نظریه مجموعه های فازی و منطق فازی نقش مهمی را در بررسی امکان کنترل چنین سیستم هایی داشت. اکنون نظریه کنترل فازی به عنوان یک جایگزین و شاخه جدیدی از نظریه سیستم های کنترل است که با استفاده از منطق فازی توانسته سهم عمده ای در کنترل سیستم هایی داشته باشد که اغلب با روش های کنترل کلاسیک به خوبی قابل کنترل نیستند.

کنترل کننده های PID کلاسیک (تناسبی، انتگرالی، مشتقی) از شناخته شده ترین و پرکاربردترین کنترل کننده ها در صنایع جدید هستند. آمارها نشان می دهد که بیش از ۹۰ درصد کنترل کننده ها امروزه در صنعت از نمونه های کنترل کننده PID هستند. کنترل کننده های PID به دلیل سادگی، قابل اعتماد بودن، موثر بودن و هزینه کمتر در سیستم های با درجات پایینتر به طور گسترده استفاده می شوند و پایداری نسبتاً خوبی دارند [27]. در سیستم کنترل PID یک رابطه و منطق ریاضی حاکم است. در یک لوپ ساده PID، سیستم دارای یک مقدار مبنا و یک فیدبک از فرآیند است که با یکدیگر مقایسه می شوند. اختلاف این دو مقدار، محاسبه شده و کنترلر براساس رابطه ریاضی خاصی که برایش تعریف شده فرمان لازم را به خروجی می فرستد [28]. با توجه به مطالب ذکر شده هدف از پژوهش حاضر طراحی و پیاده سازی کنترل کننده PID فازی برای اکسترودر واحد پلی اتیلن سبک خطی در PLC زیمنس می باشد.

**شیوه طراحی، پیاده سازی و عملکرد کنترل کننده**

در سیستم کنترل اکسترودر واحد پلی اتیلن سبک خطی پتروشیمی امیرکبیر که در PLC S400 زیمنس طراحی و پیاده سازی شده است، از ۲۶ کنترل کننده PID کلاسیک به منظور کنترل دمای بخش های مختلف و از یک کنترل کننده PID کلاسیک برای کنترل فشار استفاده شده است.

کنترل کننده های دما بر اساس ضرایب PID به سه دسته تقسیم بندی شده اند.

دسته اول کنترل کننده هایی با ضرایب  $K_p = 19.2$ ،  $T_i = 20$  و  $T_d = 0$  هستند. این کنترل کننده ها با اسامی TC2\_bear\_temp\_MP که کنترل کننده دمای بیرینگ (bearing) مربوط به Melt Pump(MP) است و TC2\_shaft\_bear\_temp\_MP که کنترل کننده دمای بیرینگ شفت (shaft bearing) مربوط به Melt Pump(MP) است در سیستم کنترل اکسترودر شناخته می شوند.

دسته دوم کنترل کننده هایی با ضرایب  $K_p = 19.2$ ،  $T_i = 40$  و  $T_d = 15$  هستند. این کنترل کننده ها با اسامی Controller TC\_hotoil\_1، TC\_hotoil\_2، Control\_temp، 7,8,9,10,11,12,13,14,15,16 (کنترل کننده های دمای روغن) و TC1\_bear\_temp\_MP (کنترل کننده دمای بیرینگ MP)، TC1\_shaft\_bear\_temp\_MP (کنترل کننده دمای بیرینگ شفت)، TC\_pellet water (کنترل کننده دمای آب پالت)، TC\_bear\_temp (کنترل کننده دمای بیرینگ)، TC2\_bear\_temp (کنترل کننده دمای بیرینگ) و TC\_pellet dryer (کنترل کننده دمای خشک کن پالت) در سیستم کنترل اکسترودر معرفی شده اند.

دسته سوم کنترل کننده های با ضرایب  $K_p = 56$ ،  $T_i = 40$  و  $T_d = 15$  هستند. این کنترل کننده ها با اسامی Controller 2,3,4,5,6 در سیستم کنترل اکسترودر طراحی شده اند.

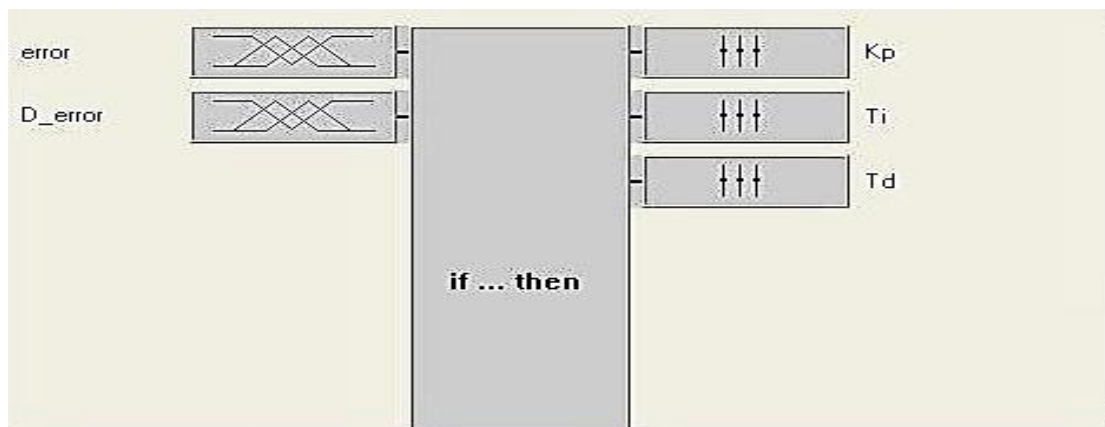
تنها کنترل کننده فشار به کار رفته در PLC اکسترودر، فشار ساکشن (Suction Pressure) است. و با ضرایب PID،  $K_p = 5$ ،  $T_i = 3$  و  $T_d = 0$  در سیستم کنترل اکسترودر به کار رفته است.

در ابتدا Station SIMATIC 400 را در نرم افزار SIMATIC Manager ساخته و سپس پیکربندی سخت افزار SIMATIC 400 انجام می شود. از ماژول CPU 414-4H در اسلات ۳ استفاده شده است. یک ماژول منبع تغذیه مدل PS407 10A در اسلات ۱ به کار رفته است. در اسلات های ۵ تا ۸ به ترتیب ۴ عدد کارت AI، AO، DI و DO به عنوان ورودی و خروجی های آنالوگ و دیجیتال قرار گرفته است.

بعد از ایجاد SIMATIC 400 Station محیط برنامه نویسی S7 Program به وجود می آید.

۱. طراحی کنترل کننده PID فازی برای کنترل دما

ساختار کلی برنامه کنترل کننده PID فازی که در نرم افزار Fuzzy Control++ پیاده سازی شده است در شکل (۱) نشان داده شده است. دو ورودی خطا (error) و تغییرات خطا (D\_error)، جدول قواعد (if...then) و سه خروجی  $K_p$ ،  $T_i$  و  $T_d$  برای این منظور در نظر گرفته شد.



شکل ۱: ساختار کلی کنترل کننده PID فازي

در این پژوهش ابتدا کنترل کننده PID فازي برای کنترل دمای دسته اول با ضرایب  $K_p = 19.2$ ،  $T_i = 20$  و  $T_d = 0$  طراحی شده و بعد از بهینه سازی توابع عضویت و جدول قواعد نتایج مطلوبی در مقایسه با کنترل کننده PID کلاسیک حاصل شده است. سپس طراحی اولیه برای کنترل دمای دسته دوم با ضرایب  $K_p = 19.2$ ،  $T_i = 40$  و  $T_d = 15$  و کنترل دمای دسته سوم با ضرایب  $K_p = 56$ ،  $T_i = 40$  و  $T_d = 15$  به کار رفته و با اندکی تغییر در توابع عضویت و جدول قواعد نتایج مطلوب به دست آمد. به دلیل اینکه کنترل کننده PID فازي طراحی شده برای هر سه گروه دما جواب قابل قبولی داشته است، نیاز به طراحی کنترل کننده مجزا برای هر گروه وجود نداشته و این از مزایای کنترل کننده PID فازي است

در جدول (۱) و جدول (۲) جدول قواعد مشاهده می شود که شامل ۱۰ قاعده می باشد و از ۵ حالت خطای دما و ۲ حالت تغییرات خطای دما به دست آمده است. ۱۰ حالت برای خروجیهای  $K_p$ ،  $T_i$  و  $T_d$  در سه ردیف آخر در نظر گرفته شد و مقادیر آنها در جداول مشخص است.

برای سایر حالتها که خطای دما منفی بوده و نمودار دما از مقدار مطلوب عبور کرده و اورشوت به وجود می آید، با توجه به جدول (۱) و جدول (۲) خروجی های مناسب به کار رفته، تا در نهایت کنترل دما به شکل مطلوب با کمترین میزان اورشوت و پایداری لازم صورت گیرد.

جدول ۱: جدول قواعد



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
error	p_big	p_small	zero	n_small	n_big	zero	n_small	n_big	p_small
D_error	neg	neg	neg	neg	neg	pos	pos	pos	pos
Kp	_192	_10	_4	_4	_192	_4	_4	_192	_10
Ti	_20	_60	_80	_40	_20	_30	_40	_20	_60
Td	_0	_6	_17	_25	_0	_17	_25	_0	_6

< [Matrix Icon] >

Cut

Copy

Paste

Paste Empty

Add

Delete

Compress

--> Matrix

جدول ۲: ادامه جدول قواعد

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
error	p_small	zero	n_small	n_big	zero	n_small	n_big	p_small	p_big
D_error	neg	neg	neg	neg	pos	pos	pos	pos	pos
Kp	_10	_4	_4	_192	_4	_4	_192	_10	_192
Ti	_60	_80	_40	_20	_30	_40	_20	_60	_20
Td	_6	_17	_25	_0	_17	_25	_0	_6	_0

Cut

Copy

Paste

Paste Empty

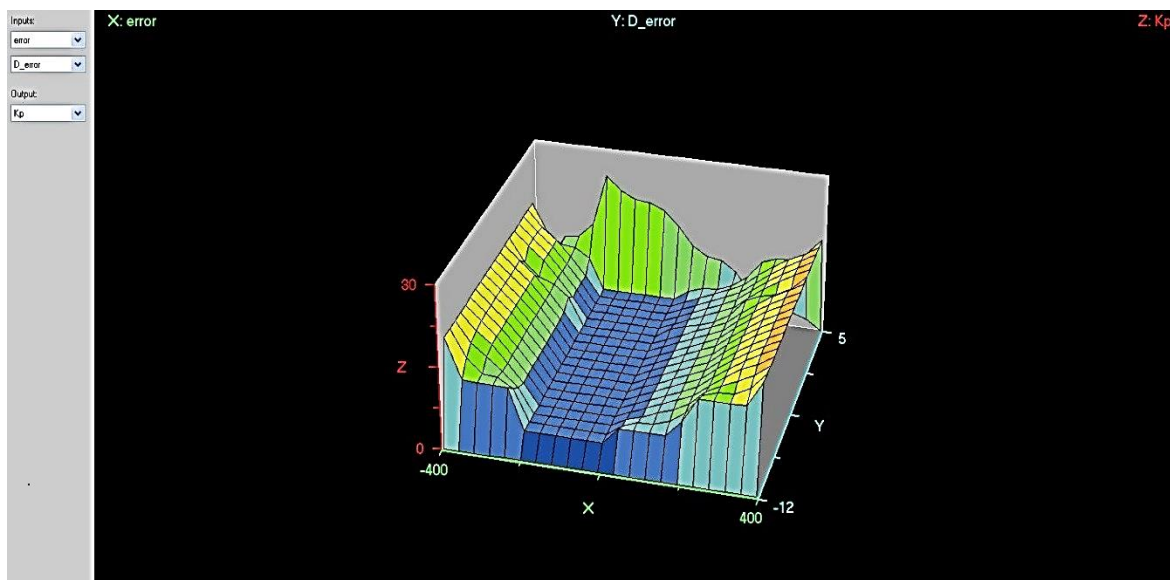
Add

Delete

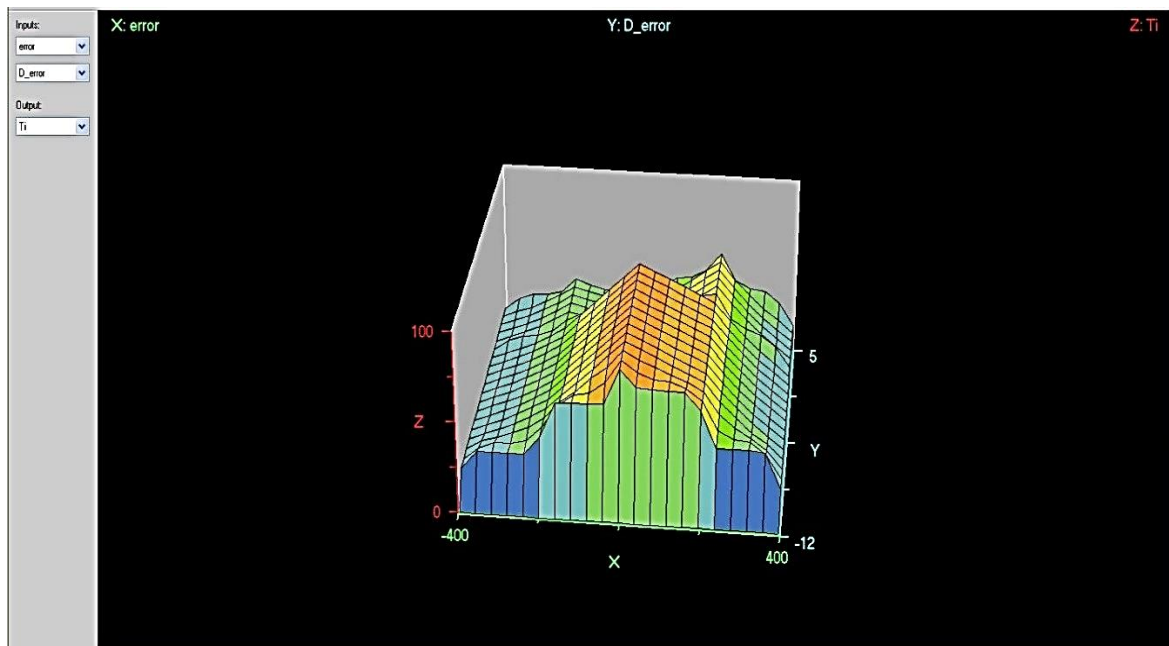
Compress

--> Matrix

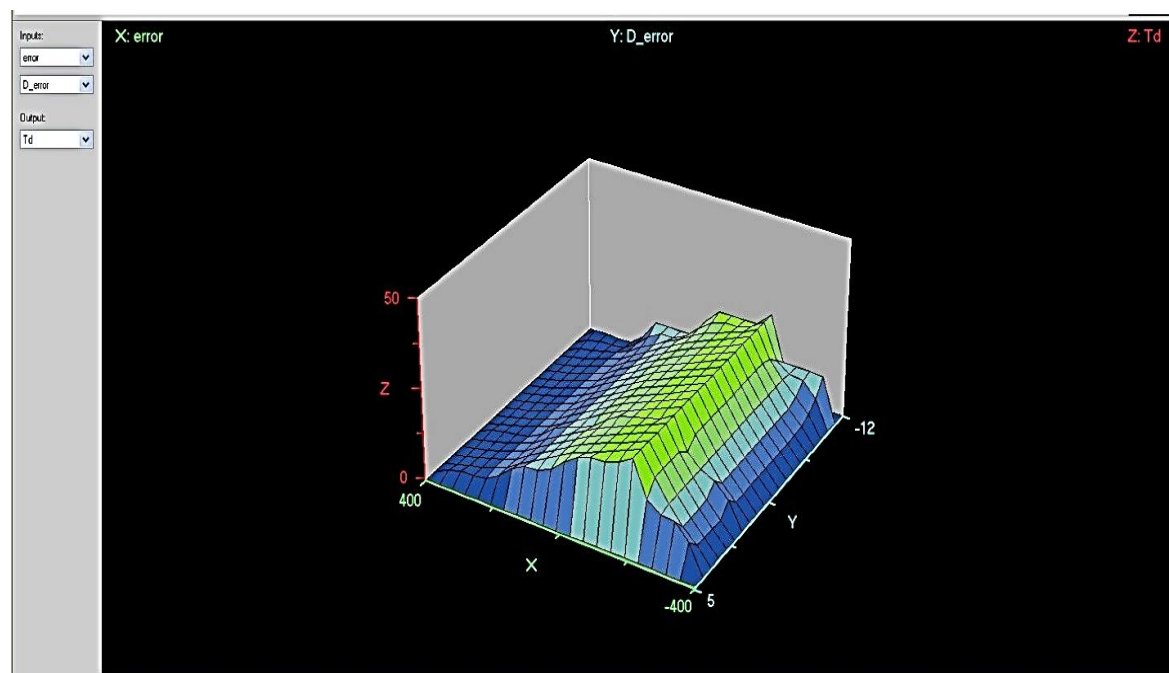
در شکل (۲) نمایش سه بعدی  $K_p$ ، در شکل (۳) نمایش سه بعدی  $T_i$  و در شکل (۴) نمایش سه بعدی  $T_d$  ملاحظه می شود. در هر سه شکل محور  $X$  خطای دما و محور  $Y$  تغییرات خطای دما را نشان می دهد. مقدار  $X$  از  $-400$  تا  $400$  و مقدار  $Y$  از  $-12$  تا  $5$  تغییر می کند. در شکل (۲) محور  $Z$  تغییرات  $K_p$  را از  $0$  تا  $30$ ، در شکل (۳) محور  $Z$  تغییرات  $T_i$  را از  $0$  تا  $100$  و در شکل (۴) محور  $Z$  تغییرات  $T_d$  را از  $0$  تا  $50$  در یک فضای سه بعدی نشان می دهد.



شکل ۲: نمایش سه بعدی بهره تناسبی  $K_p$



شکل ۳: نمایش سه بعدی ثابت زمانی انتگرال گیر  $T_i$



شکل ۴: نمایش سه بعدی ثابت زمانی مشتق گیر  $T_d$

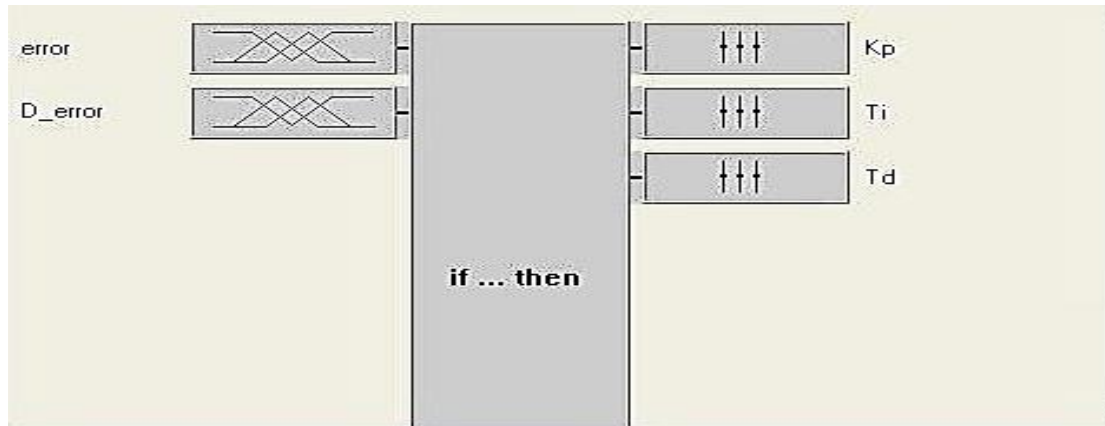
### طراحی کنترل کننده PID فازی برای کنترل فشار

برای کنترل فشار ساکشن (Suction Pressure) که در حالت کنترل کلاسیک با ضرایب PID،  $K_p=5$ ،  $T_i=3$  و  $T_d=0$  در سیستم اکسترودر به کار رفته است، از ساختاری مانند شکل (۵) استفاده شده است؛ که برای کنترل دما طراحی شده و قبلاً" تشریح شده است. اما به دلیل ماهیت فشار و تفاوت در ضرایب PID برای کنترل بهتر در حالت فازی، تغییراتی در توابع عضویت ورودی ها،



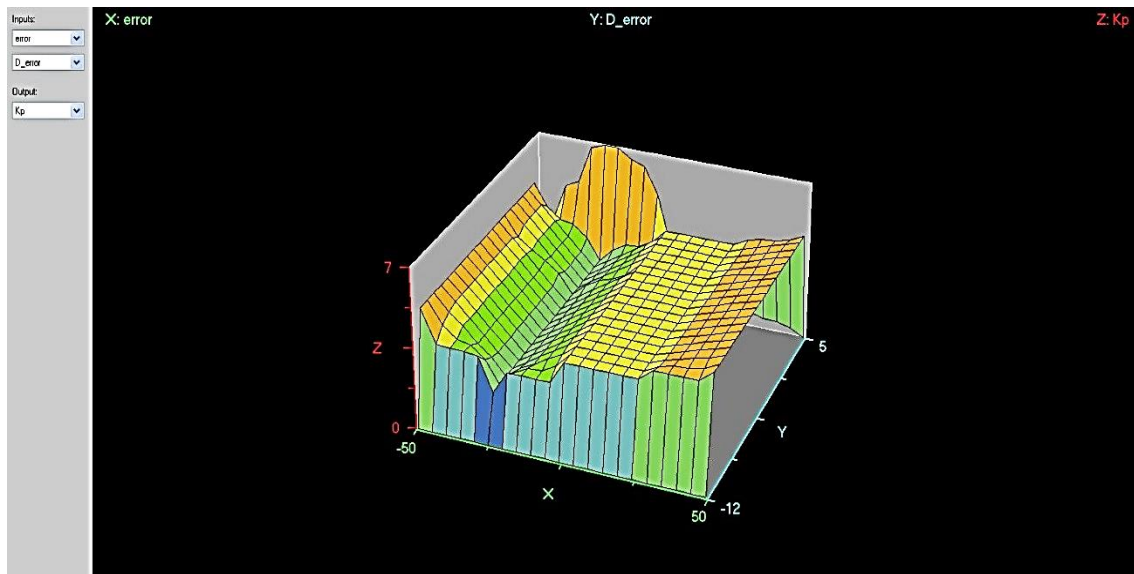


خروجی ها و همچنین جدول قواعد صورت گرفته است. بازه انتخابی برای توابع عضویت ورودی اول از ۵۰- تا ۵۰+ در نظر گرفته شده و برای توابع عضویت ورودی دوم بازه ۱۰- تا ۳+ انتخاب شده است.

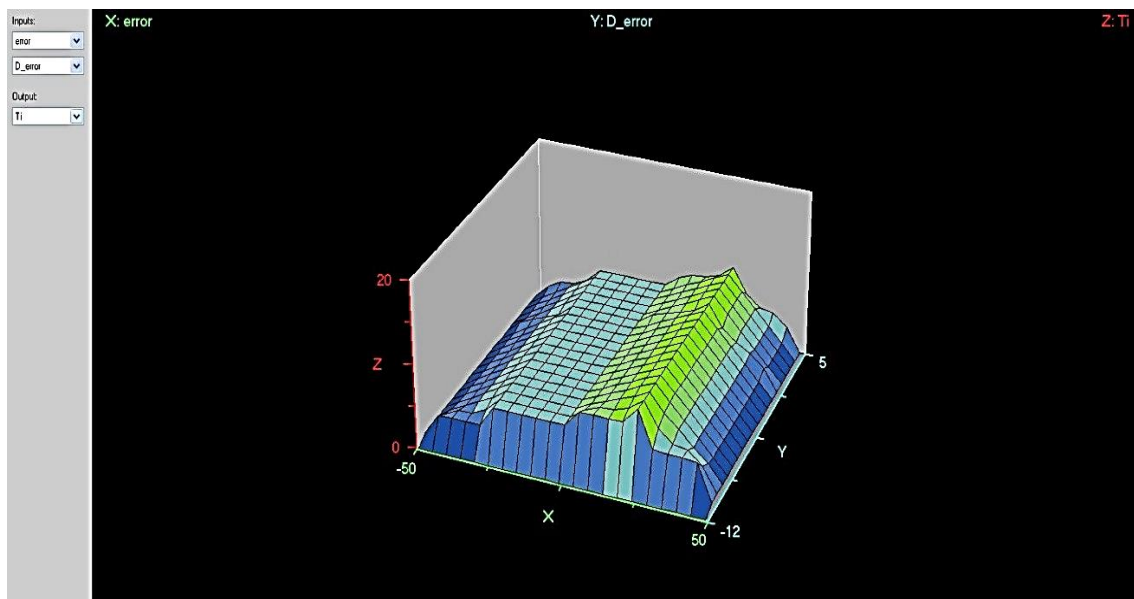


شکل ۵: ساختار کلی کنترل کننده PID فازی

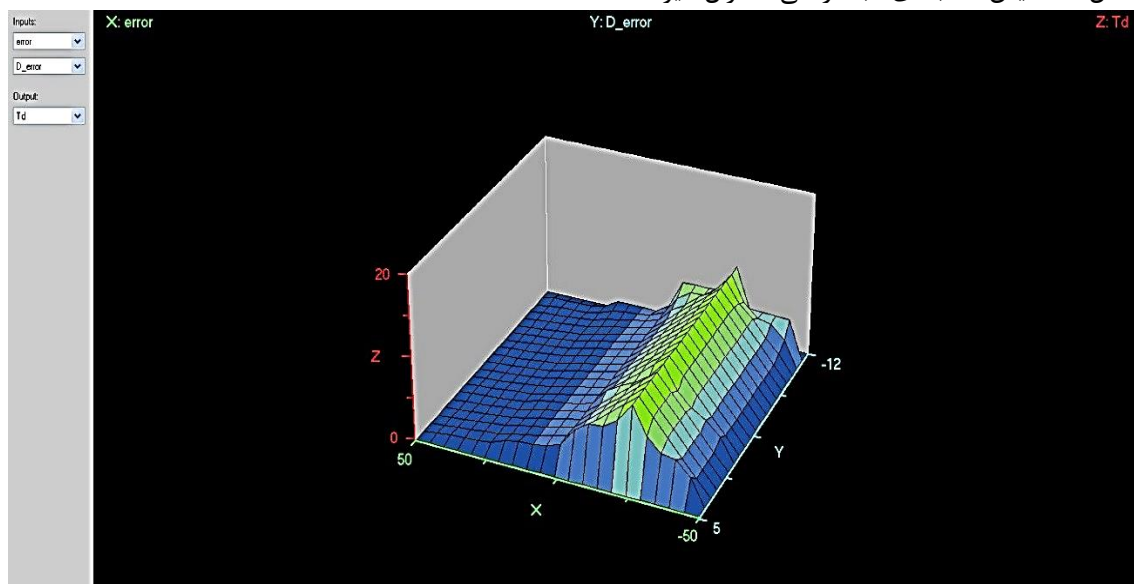
شکل (۶)، شکل (۷) و شکل (۸) نمایش سه بعدی خروجی های فازی را برای این کنترل کننده PID فازی بر روی محور  $X, Y, Z$  نشان می دهد.



شکل ۶: نمایش سه بعدی بهره تناسبی



شکل ۷: نمایش سه بعدی ثابت زمانی انتگرال گیر



شکل ۸: نمایش سه بعدی ثابت زمانی مشتق گیر

### اعمال ورودی ها و نمایش خروجی ها در نرم افزار WinCCExplorer

در این پژوهش از نرم افزار WinCCExplorer برای اعمال ورودی های لازم و مشاهده خروجی ها استفاده شده است. تگ های مورد نیاز برای ارتباط با PLC در قسمت Tag Management ایجاد شده اند. با توجه به نوع ارتباط نرم افزار با PLC که در این پروژه از نوع MPI است

## یافته ها

### الف: نتایج کنترل دما

#### نتایج کنترل دمای گروه اول

در گروه اول از ۴ مقدار ۱۰۰، ۲۵۰، ۳۵۰ و ۴۵۰ درجه سانتیگراد برای مقادیر مطلوب استفاده شده و در این مقادیر، میزان فراجهش (Overshot) و زمان نشست (Settling time) برای این گروه کنترل کننده بررسی شده است.

در دمای مطلوب ۱۰۰ درجه سانتیگراد، مقدار دما برای کنترل کننده کلاسیک تا ۱.۲۴.۵۲ درجه سانتیگراد بالا رفته و میزان فراجهش ۲۴.۵۲ است. برای کنترل کننده PID فازی در این دمای مطلوب، قله منحنی ۱.۰۵.۸۸ و مقدار فراجهش ۵.۸۸ است. از مقایسه این دو مقدار مشاهده می شود که میزان فراجهش در کنترل کننده PID فازی به نسبت کنترل کننده کلاسیک به مقدار ۱۸.۶۴ کاهش یافته است.

در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد، میزان فراجهش برای کنترل کننده PID کلاسیک، ۲۶.۳۰ و این مقدار برای کنترل کننده PID فازی، ۷.۸۰ است. در این دما فراجهش ۱۸.۵ کاهش یافته است. در دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد، میزان فراجهش برای کنترل کننده PID کلاسیک، ۱۸.۰۲ و این مقدار برای کنترل کننده PID فازی، ۵.۸۱ است. در این دما فراجهش ۱۲.۲۱ کاهش یافته است. در دمای ۳۵۰ درجه سانتیگراد، میزان فراجهش برای کنترل کننده PID کلاسیک، ۲۴.۱۹ و این مقدار برای کنترل کننده PID فازی، ۸.۴۴ است. در این دما فراجهش، ۱۵.۷۵ کاهش یافته است. زمانی که مقدار واقعی دما کمتر از ۲٪+ و بیشتر از ۲٪- مقدار مطلوب باشد زمان نشست در نظر گرفته شده است. زمان نشست در دمای مطلوب ۱۰۰ درجه سانتیگراد در حالت کنترل کننده PID کلاسیک، ۱۹۷ ثانیه و برای کنترل کننده PID فازی در همین دما، ۸۰ ثانیه است. اختلاف این دو مقدار، ۱۱۷ ثانیه است و نشان می دهد که کنترل کننده PID فازی تاثیر زیادی بر روی کاهش زمان نشست و در نتیجه پایداری سیستم دارد.

در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد، زمان نشست برای کنترل کننده PID کلاسیک، ۱۰۴ ثانیه و برای کنترل کننده PID فازی، ۷۱ ثانیه است. زمان نشست برای این دو حالت کنترل کننده، اختلافی ۳۳ ثانیه ای دارد. در دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد، زمان نشست برای کنترل کننده PID کلاسیک، ۸۶ ثانیه و برای کنترل کننده PID فازی، ۵۳ ثانیه است. اختلاف زمان نشست برای این دو حالت کنترل کننده، ۳۳ ثانیه است. در دمای ۳۵۰ درجه سانتیگراد، زمان نشست برای کنترل کننده PID کلاسیک، ۸۷ ثانیه و برای کنترل کننده PID فازی، ۶۵ ثانیه است. اختلاف زمان نشست برای این دو حالت کنترل کننده، ۲۲ ثانیه است.



شکل ۹: کنترل دمای گروه اول

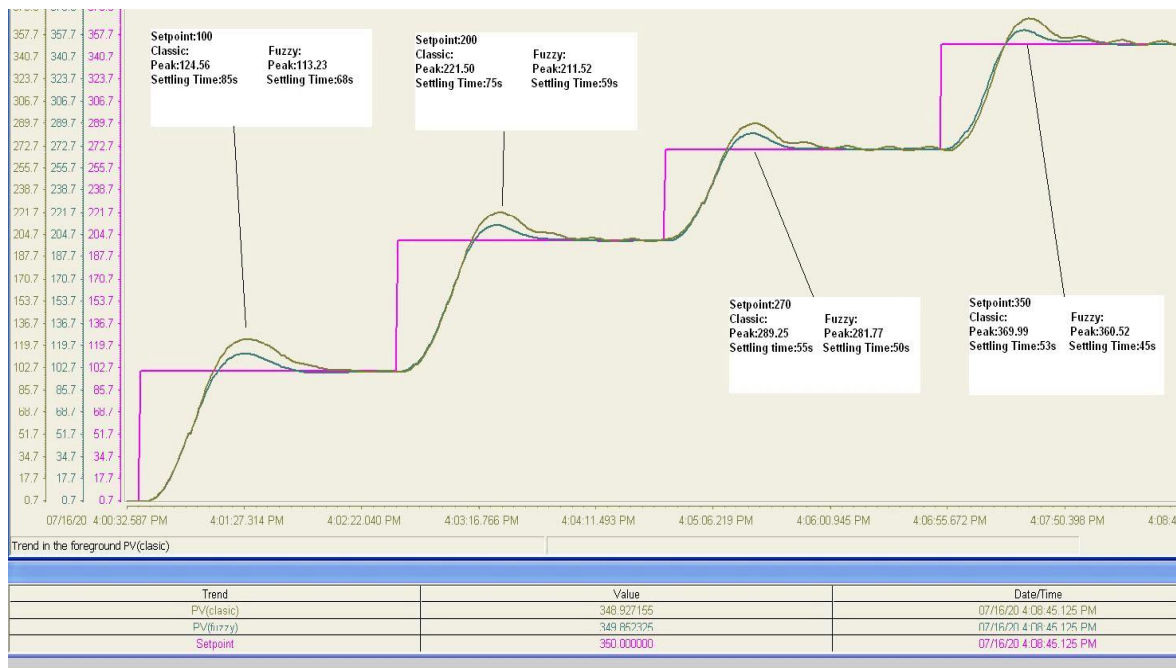
## نتایج کنترل دمای گروه دوم

در شکل (۱۰) مشاهده می شود که از ۴ مقدار ۱۰۰، ۲۰۰، ۲۷۰ و ۳۵۰ درجه سانتیگراد برای مقادیر مطلوب استفاده شده است. در ادامه به بررسی میزان فراجش و زمان نشست کنترل کننده های گروه دوم پرداخته می شود.

در دمای مطلوب ۱۰۰ درجه سانتیگراد، مقدار دما برای کنترل کننده کلاسیک تا ۱۲۴.۵۶ درجه سانتیگراد بالا رفته و میزان فراجش ۲۴.۵۶ است. برای کنترل کننده PID فازی در این دمای مطلوب، قله منحنی ۱۱۳.۲۳ و مقدار فراجش ۱۳.۲۳ است. از مقایسه این دو تا مقدار مشاهده می شود که میزان فراجش در کنترل کننده PID فازی به نسبت کنترل کننده PID کلاسیک به مقدار ۱۱.۳۳ کاهش یافته است. در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد، میزان فراجش برای کنترل کننده PID کلاسیک، ۲۱.۵۰ و این مقدار برای کنترل کننده PID فازی، ۱۱.۵۲ است. در این دما فراجش ۹.۹۸ کاهش یافته است. در دمای ۲۷۰ درجه سانتیگراد، میزان فراجش برای کنترل کننده PID کلاسیک، ۱۹.۲۵ و این مقدار برای کنترل کننده PID فازی، ۱۱.۷۷ است. در این دما فراجش ۷.۴۸ کاهش یافته است. در دمای ۳۵۰ درجه سانتیگراد، میزان فراجش برای کنترل کننده PID کلاسیک، ۱۹.۹۹ و این مقدار برای کنترل کننده PID فازی، ۱۰.۵۲ است. در این دما فراجش ۹.۴۷ کاهش یافته است.

زمان نشست در دمای مطلوب ۱۰۰ درجه سانتیگراد برای کنترل کننده PID کلاسیک، ۸۵ ثانیه و برای کنترل کننده PID فازی در همین دما، مقدار ۶۸ ثانیه است. اختلاف این دو مقدار ۱۷ ثانیه است. در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد، زمان نشست برای کنترل کننده PID کلاسیک، ۷۵ ثانیه و برای کنترل کننده PID فازی، ۵۹ ثانیه است. زمان نشست برای این دو حالت کنترل کننده، اختلافی ۱۶

ثانیه ای دارد. در دمای ۲۷۰ درجه سانتیگراد، زمان نشست برای کنترل کننده PID کلاسیک، ۵۵ ثانیه و برای کنترل کننده PID فازی، ۵۰ ثانیه است. اختلاف زمان نشست برای این دو حالت کنترل کننده، ۵ ثانیه است. در دمای ۳۵۰ درجه سانتیگراد، زمان نشست برای کنترل کننده PID کلاسیک، ۵۳ ثانیه و برای کنترل کننده PID فازی، ۴۵ ثانیه است. اختلاف زمان نشست برای این دو حالت کنترل کننده، ۸ ثانیه است.



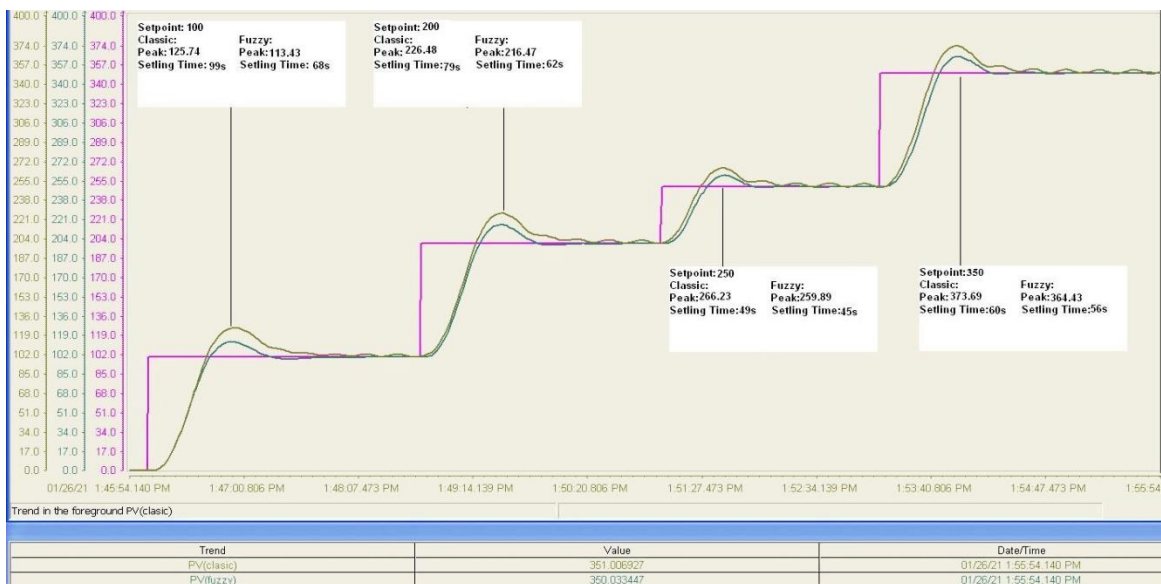
شکل ۱۰: کنترل دمای گروه دوم

### نتایج کنترل دمای گروه سوم

کنترل کننده های گروه سوم با ضرایب ثابت  $K_p = 56$ ،  $T_i = 40$  و  $T_d = 15$  به روش کلاسیک برای کنترل دمای ۵ قسمت از اکسترودر به کار رفته اند. از ۴ مقدار ۱۰۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۵۰ درجه سانتیگراد مطابق شکل (۱۱) برای مقادیر مطلوب استفاده شده و در این مقادیر، میزان فراجش و زمان نشست برای گروه سوم کنترل کننده بررسی شده است.

در دمای مطلوب ۱۰۰ درجه سانتیگراد، مقدار دما برای کنترل کننده کلاسیک تا ۱۲۵.۷۴ درجه سانتیگراد بالا رفته و میزان فراجش ۲۵.۷۴ است. برای کنترل کننده PID فازی در این دمای مطلوب، قله منحنی ۱۱۳.۴۳ و مقدار فراجش ۱۳.۴۳ است. از مقایسه این دو مقدار مشاهده میشود که میزان فراجش در کنترل کننده PID فازی به نسبت کنترل کننده PID کلاسیک به مقدار ۱۲.۳۱ کاهش یافته است. در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد، میزان فراجش برای کنترل کننده PID کلاسیک، ۲۶.۴۸ و این مقدار برای کنترل کننده PID فازی، ۱۶.۴۷ است. در این دما فراجش ۱۰.۰۱ کاهش یافته است. در دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد، میزان فراجش برای کنترل کننده PID کلاسیک، ۱۶.۲۳ و این مقدار برای کنترل کننده PID فازی، ۹.۸۹ است. در این دما فراجش ۶.۳۴ کاهش یافته است. در دمای ۳۵۰ درجه سانتیگراد، میزان فراجش برای کنترل کننده PID کلاسیک، ۲۳.۶۹ و این مقدار برای کنترل کننده PID فازی، ۱۴.۴۳ است. در این دما فراجش ۹.۲۶ کاهش یافته است.

زمان نشست در دمای مطلوب ۱۰۰ درجه سانتیگراد برای کنترل کننده PID کلاسیک، ۹۹ ثانیه و برای کنترل کننده PID فازی در همین دما مقدار ۶۸ ثانیه است. اختلاف این دو مقدار ۳۱ ثانیه است. در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد، زمان نشست برای کنترل کننده PID کلاسیک، ۷۹ ثانیه و برای کنترل کننده PID فازی، ۶۲ ثانیه است. زمان نشست برای این دو حالت کنترل کننده، اختلافی ۱۷ ثانیه ای دارد. در دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد، زمان نشست برای کنترل کننده PID کلاسیک، ۴۹ ثانیه و برای کنترل کننده PID فازی، ۴۵ ثانیه است. اختلاف زمان نشست برای این دو حالت کنترل کننده، ۴ ثانیه است. در دمای ۳۵۰ درجه سانتیگراد، زمان نشست برای کنترل کننده PID کلاسیک، ۶۰ ثانیه و برای کنترل کننده PID فازی، ۵۶ ثانیه است. اختلاف زمان نشست برای این دو حالت کنترل کننده، ۴ ثانیه است.



شکل ۱۱: کنترل دمای گروه سوم

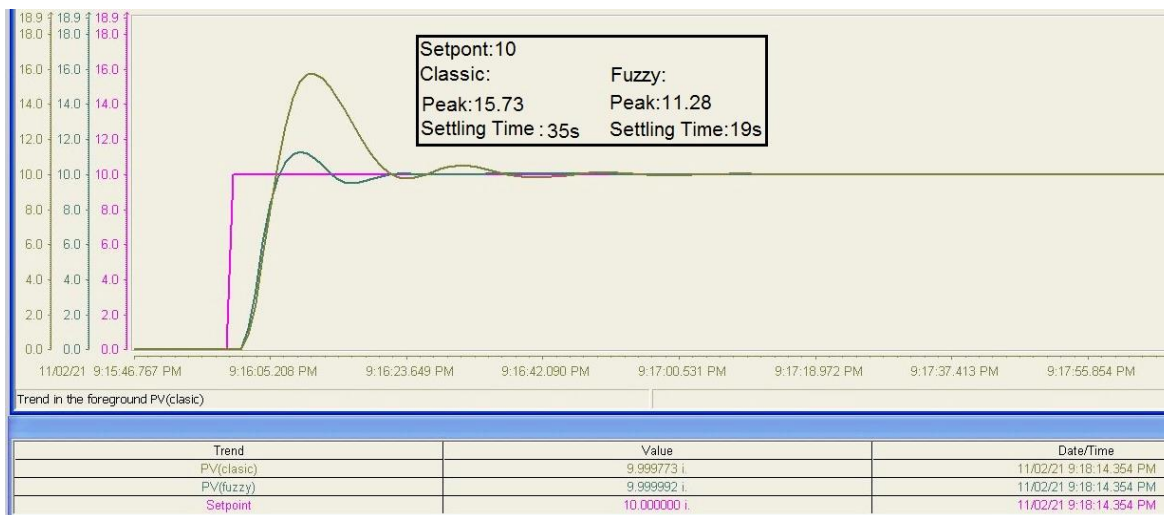
## ب: نتایج کنترل فشار

کنترل کننده PID فازی طراحی شده برای کنترل فشار، با ضرایب ثابت  $K_p=5$ ،  $T_i=3$  و  $T_d=0$  به روش کلاسیک برای کنترل فشار ساکن در اکسترودر به کار رفته است. برای بررسی و مقایسه میزان فرایجهش و زمان نشت با کنترل کننده PID کلاسیک، از سه مقدار مطلوب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ استفاده شده است.

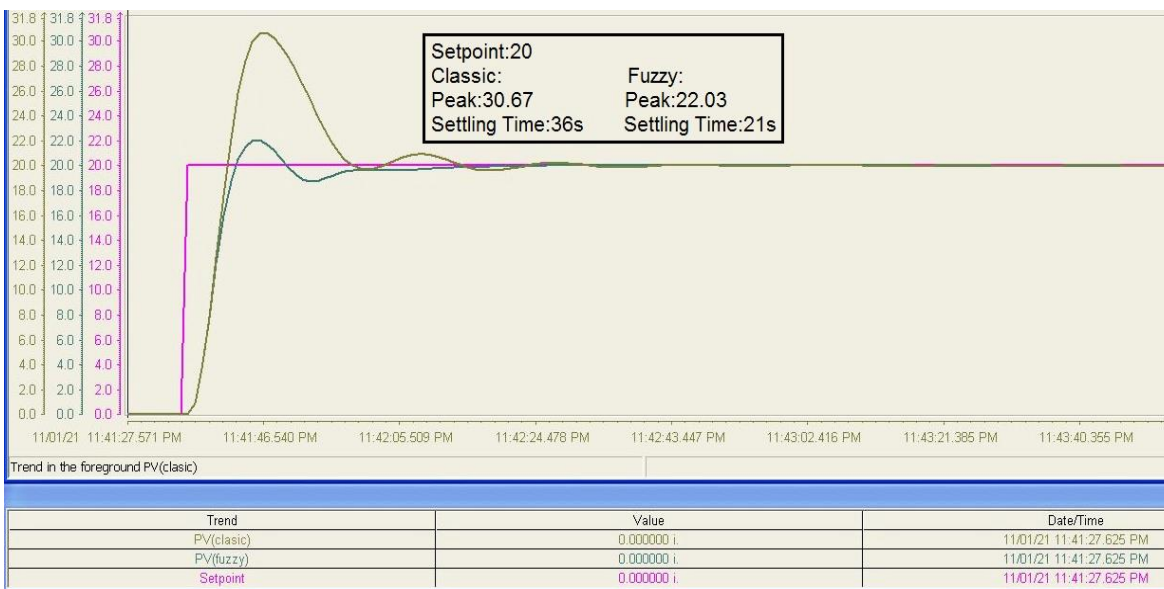
همانطور که ملاحظه می شود در شکل (۱۲) از مقدار مطلوب ۱۰ استفاده شده و میزان فرایجهش در حالت کنترل کننده PID کلاسیک ۷۳ بوده درحالیکه برای کنترل کننده PID فازی مقدار ۲۸ هست و اختلاف فرایجهش برای هر دو کنترل کننده ۴۵.۴ است. در شکل (۱۲) با بررسی میزان فرایجهش برای هر دو کنترل کننده PID کلاسیک و PID فازی برای مقدار مطلوب ۲۰، مقدار فرایجهش ۶۷.۱۰ برای حالت کلاسیک و مقدار فرایجهش ۰.۳۲ برای حالت فازی ثبت شده است؛ مقایسه این دو، اختلاف محسوس ۸.۶۴ را نشان می دهد. در شکل (۱۳) مقدار مطلوب ۳۰ به کار رفته است. مقدار فرایجهش برای کنترل کننده PID کلاسیک، ۷۵.۱۲ و برای کنترل کننده PID فازی، ۸۷.۲ است و اختلاف این دو مقدار، ۸۸.۹ است. مقایسه کنترل کننده PID فازی با کنترل کننده PID کلاسیک در هر سه مقدار، نشان از کاهش مطلوبی در مقدار فرایجهش دارد.



**شکل (۱۲)** در مقدار مطلوب ۱۰ زمان نشست ۳۵ ثانیه ای را برای کنترل کننده PID کلاسیک و زمان نشست ۱۹ ثانیه ای را برای کنترل کننده PID فازی نشان می دهد. اختلاف زمان نشست ۱۶ ثانیه است. در شکل (۱۳) با مقدار مطلوب ۲۰، زمان نشست برای کنترل کننده PID کلاسیک ۳۶ ثانیه و برای کنترل کننده PID فازی ۲۱ ثانیه است. اختلاف این دو مقدار ۱۵ ثانیه است. و شکل (۱۴) در مقدار مطلوب ۳۰، زمان نشست ۸۷ ثانیه را برای کنترل کننده PID کلاسیک و زمان نشست ۲۵ ثانیه را برای کنترل کننده PID فازی ثبت کرده است. اختلاف زمان نشست در این مقدار مطلوب، ۶۲ ثانیه است. بررسی نتایج در هر سه مقدار مطلوب، بهبود زمان نشست کنترل کننده PID فازی را در مقایسه با کنترل کننده PID کلاسیک نشان می دهد.



شکل ۱۲: کنترل فشار در مقدار ۱۰ bar



شکل ۱۳: کنترل فشار در مقدار ۲۰ bar



شکل ۱۴: کنترل فشار در مقدار ۳۰ bar

## بحث و نتیجه گیری

اغلب اوقات یک کنترل کننده فازی نسبت به کنترل کننده کلاسیک ساده تر طراحی شده، سریعتر بوده و اورشوت کمتری دارد. کنترل کننده فازی در سیستم های چند ورودی، چند خروجی (MIMO) و غیر خطی نیز عملکرد بهتری دارد. اما گاهی اوقات، کار با کنترل فازی، پیچیده تر می شود؛ زیرا تعیین توابع عضویت کار ساده ای نیست. اما در کنترل کلاسیک، ریاضیاتی وجود دارد که میتوان راحت تر تحلیل کرد. برای فرآیندهای ساده تر کاملاً دقیق بوده و راهکارهایی برای رسیدن به پایداری وجود دارد. کارایی کنترل کننده کلاسیک اساساً به توانایی طراح در تعیین ضرایب PID بستگی دارد و گاهی اوقات تعیین ضرایب برای سیستم های غیر خطی کمی مشکل است.

در کنترل کلاسیک، اولین قدم ایجاد یک مدل ریاضی برای فرآیند تحت کنترل است. این مرحله یک مرحله انتزاعی است. و طراح با بیشترین مشکلات مواجه بوده، به همین دلیل برای مدل سازی یک فرآیند پیچیده، ابتدا باید فرضیات ساده تری را مطرح کرده و سیستم را با معادلات دیفرانسیل تشریح کرد. پس از توسعه مدل ریاضی، از نظریه کنترل در معادلات استفاده می شود که منجر به توصیف کنترل کننده می شود. سپس کنترل کننده برای کنترل فرآیند استفاده می شود. و باید دید که این کنترل کننده به درستی کار می کند یا خیر. در بیشتر موارد اگر مدل ریاضی به درستی رفتار کند و از نظر تئوری پایداری آن ثابت شود در عمل کنترل کننده پایداری مطلوبی را خواهد داشت.

در کنترل فازی اغلب با فرآیندهایی مواجه هستیم که قرار است کار کنترل توسط انسان انجام شود یا به نوعی یک کنترل هوشمند صورت گیرد. در اینجا یک ارتباط دو طرفه بین انسان و فرآیند وجود دارد. و این ارتباط، بدلیل بازخورد و تاثیر شدیدی است که انسان و فرآیند در این نوع کنترل از هم دارند. اشخاص برای کنترل فرآیند از تخصص و مهارتهای خود برای بیان قواعد فازی استفاده می کنند.



با استفاده از این قواعد و توابع عضویت که این هم یک عامل هوشمند تلقی می شود، یک کنترل کننده مبتنی بر قواعد فازی به وجود می آید. و در نتیجه با استفاده از نظریه سیستم های فازی، یک کنترل کننده فازی خودکار طراحی می شود. عملکرد کنترل کننده فازی هم مانند کنترل کننده کلاسیک بارها آزمایش می شود تا درستی آن به اثبات رسد، و یا حداقل به عنوان یک کنترل کننده مطلوب شرایط لازم را داشته باشد.

به طور کلی می توان گفت که اصول طراحی یک کنترل کننده کلاسیک برگرفته از یک مفهوم ریاضی در دنیای واقعی است، درحالیکه پایه و اساس طراحی یک کنترل فازی، تجربه و تخصص شخص کنترل کننده است.

یکی از محدودیت های پژوهش این است که با توجه به اینکه در پتروشیمی امیرکبیر و به طور کلی در صنعت پتروشیمی، حساسیت زیادی در کنترل فرآیند و تولید وجود دارد، اعمال تغییرات زیاد بر روی سیستم کنترل به ندرت اتفاق می افتد و نیاز به تمهیدات و اقدامات ویژه ای دارد، لذا امکان به کارگیری و آزمایش سیستم کنترل فازی به طور عملی وجود نداشت. و به همین دلیل برای ایجاد حلقه های کنترلی برای کنترل دما و فشار از شبیه سازی حلقه های کنترل در برنامه نویسی استفاده شده است. و تا حد زیادی سعی شده است که این شبیه سازی به یک فرآیند واقعی نزدیک باشد

## منابع

1. Zadeh, L. A. , Fuzzy sets, Information and control, vol. 8, pp. 338-353, 1965
2. SIMATIC S7. Fuzzy Control. User's Manual, SIEMENS AG, 2002
3. Ibrahim, A. , Fuzzy logic for embedded systems applications, Newnes, 2004
4. Zadeh, L. A. , Fuzzy sets, in Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers by Lotfi A Zadeh, World Scientific, pp. 394--432, 1996
5. Chevie, F. , Guély, F. , Cahier technique no 191-Fuzzy logic, ECT 191 first issued, Groupe Schneider's Technical series, 1998
6. Mayilvaganan, M. , Rajeswari, K. , Human Blood Pressure Classification Analysis Using Fuzzy Logic Control System in Datamining, International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS), vol. 3, no. 1, pp. 306-306, 2014
7. Ekong, B. , Ifiok, I. , Udoeka, I. , Anamfiok, J. , Integrated Fuzzy based Decision Support System for the Management of Human Disease, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol. 11, no. 2, 2020
8. Djam, X. , Wajiga, G. , Kimbi, Y. , Blamah, N. , A fuzzy expert system for the management of malaria, International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology, 2011
9. Singh, P. D. , Bandil, M. K. , Mishra, N. , Decision support system for malaria and dengue disease diagnosis (DSSMD), International Journal of Information and Computation Technology, vol. 3, no. 7, pp. 633--640, 2013
10. Chandra, V. , Fuzzy expert system for migraine analysis and diagnosis, International Journal of Science and Research, vol. 3, no. 6, pp. 956--959, 2014
11. Kumar, A. , Diagnosis of heart disease using Advanced Fuzzy resolution Mechanism, International Journal of Science and Applied Information Technology, vol. 2, no. 2, pp. 22--30, 2013



12. Adeli, A. , Neshat, M. , A fuzzy expert system for heart disease diagnosis, in Proceedings of international multi conference of engineers and computer scientists, Hong Kong, 2010
13. Kumar, S. , Kaur, G. , Detection of heart diseases using fuzzy logic, Int. J. Eng. Trends Technol. (IJETT), vol. 4, no. 6, pp. 2694--2699, 2013
14. Kasbe, T. , Pippal, R. S. , Design of heart disease diagnosis system using fuzzy logic, in International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS), 2017
15. Torun, N. S. , Saritas, I. , Design of a fuzzy expert system 2007 international conference on Computer systems and technologies, 2007
16. Oad, K. K. , DeZhi, X. , Butt, P. K. , A fuzzy rule based approach to predict risk level of heart disease, Global Journal of Computer Science and Technology, vol. 14, no. 3, 2014
17. Subbulakshmi, S. , Marimuthu, G. , Neelavathy, M. N. , A Fuzzy Logic Decision Support System for The Diagnosis of Heart Disease, IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN), vol. 8, no. 8, pp. 70-77, 2018
18. Mishra, N. , Jha, P. , A review on the applications of fuzzy expert system for disease diagnosis, International Journal of Advanced Research in Engineering and Applied Sciences, vol. 3, no. 12, pp. 28--43, 2014
19. Ali, K. , Keleş, A. , Yavuz, U. , Expert system based on neuro-fuzzy rules for diagnosis breast cancer, Expert systems with applications, vol. 38, no. 5, pp. 5719--5726, 2011
20. Balanica, V. , Dumitrache, I. , Caramihai, M. , Rae, W. , Herbst, C. , Evaluation of breast cancer risk by using fuzzy logic, University Politehnica of Bucharest Scientific Bulletin, Series C, vol. 73, no. 1, pp. 53-64, 2011
21. Latha, K. , Madhu, B. , Ayesha, S. , Ramya, R. , Sridhar, R. , Balasubramanian, S. , Visualization of risk in breast cancer using fuzzy logic in matlab environment, International Journal of Computational Intelligence Techniques, vol. 4, no. 1, p. 114, 2013
22. Lavanya, K. M. , Durai, S. , Iyengar, N. , Fuzzy rule based inference system for detection and diagnosis of lung cancer, International Journal of Latest Trends in Computing, vol. 2, no. 1, pp. 165--171, 2011
23. Saritas, I. , Allahverdi, N. , Sert, I. U. , A fuzzy approach for determination of prostate cancer, International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering, vol. 1, no. 1, pp. 1-7, 2013
24. Kolhe, S. , Kamal, R. , Saini, H. S. , Gupta, G. , A web-based intelligent disease-diagnosis system using a new fuzzy-logic based approach for drawing the inferences in crops, Computers and Electronics in Agriculture, vol. 76, no. 1, pp. 16--27, 2011
25. Ross, T. J. , Fuzzy Logic with Engineering Applications, Newark: Wiley, 2016
26. Nguyen, H. T. , Prasad, N. R. , Walker, C. L. , Walker, E. A. , A First Course in Fuzzy and Neural Control, 1st ed. , Chapman and Hall/CRC, 2002
27. Chen, G. , Pham, T. T. , Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems, Boca Raton, FL: CRC Press, 2001

۲۸. ماهر، م. ، آقاجری، غ. ، پیاده سازی منطق فازی در PLC، چاپ اول، تهران، انتشارات نگارنده دانش، ۱۳۸۸