



کتابچه آزمایشگاه کنترل فرایند

ویرایش تابستان ۱۴۰۳

کارشناس آزمایشگاه: مهندس ساناز نجمی



Sanaz.najmi@saadi.shirazu.ac.ir



۳۶۴۷۳۶۸۰



۳۶۴۷۳۷۷۰



عنوان	شماره صفحه
کلیات.....	۶
۱-۱- مقدمه.....	۶
۱-۲- سیستم‌های کنترل.....	۷
۱-۲-۱- سیستم حلقه باز.....	۷
۱-۲-۲- سیستم حلقه بسته.....	۸
۱-۳- تخمین تابع انتقال فرایند.....	۹
۱-۳-۱- سیستم‌های درجه اول همراه با تاخیر انتقالی.....	۹
۱-۴- کنترل کننده‌ها.....	۱۰
۱-۴-۱- کنترل کننده تناسبی.....	۱۰
۱-۴-۲- کنترل کننده تناسبی- انتگرالی.....	۱۱
۱-۴-۳- کنترل کننده تناسبی- انتگرالی- مشتقی.....	۱۲
۱-۵- تنظیم کنترل کننده‌ها.....	۱۳
۱-۵-۱- روش زیگلر نیکولز.....	۱۳
۱-۵-۲- روش کوهن کن.....	۱۴
۱-۶- ایمنی در آزمایشگاه.....	۱۵
آزمایش کنترل فشار.....	۱۶
۱-۲- هدف از آزمایش.....	۱۶
۲-۲- دستاوردها از انجام آزمایش.....	۱۶
۳-۲- کاربرد مفاهیم در صنعت.....	۱۶
۴-۲- شرح دستگاه.....	۱۷
۵-۲- روش انجام آزمایش.....	۱۸

- ۱۸ ۲-۵-۱- بدست آوردن تابع انتقال.....
- ۱۸ ۲-۵-۲- کنترل اتوماتیک.....
- ۱۹ ۲-۶- داده‌های آزمایش.....
- ۲۰ ۲-۷- پرسش‌های آزمایش.....
- ۲۱ آزمایش کنترل دملا.....
- ۲۱ ۳-۱- هدف آزمایش.....
- ۲۱ ۳-۲- دستاوردها از انجام آزمایش.....
- ۲۱ ۳-۳- کاربرد مفاهیم در صنعت.....
- ۲۲ ۳-۴- شرح دستگاه.....
- ۲۳ ۳-۵- روش انجام آزمایش.....
- ۲۳ ۳-۵-۱- بدست آوردن تابع انتقال.....
- ۲۴ ۲-۵-۳- کنترل اتوماتیک.....
- ۲۴ ۳-۶- داده‌های آزمایش.....
- ۲۵ ۳-۷- پرسش‌های آزمایش.....
- ۲۶ آزمایش کنترل سطح.....
- ۲۶ ۴-۱- هدف آزمایش.....
- ۲۶ ۴-۲- دستاوردها از انجام آزمایش.....
- ۲۷ ۴-۳- کاربرد مفاهیم در صنعت.....
- ۲۷ ۴-۴- شرح دستگاه.....
- ۲۸ ۴-۵- روش انجام آزمایش.....
- ۲۸ ۴-۵-۱- کالیبراسیون سنسور.....
- ۲۹ ۴-۵-۲- بدست آوردن تابع انتقال.....

۲۹	..... ۳-۵-۴- کنترل اتوماتیک
۲۹	..... ۴-۵-۳- کنترل کننده دو وضعیتی
۳۰	..... ۴-۶- داده‌های آزمایش
۳۰	..... ۴-۷- پرسش‌های آزمایش
۳۲	..... آزمایش کنترل جریان
۳۲	..... ۵-۱- هدف آزمایش
۳۲	..... ۵-۲- دستاوردها از انجام آزمایش
۳۲	..... ۵-۳- کاربرد مفاهیم در صنعت
۳۳	..... ۵-۴- شرح دستگاه
۳۴	..... ۵-۵- روش انجام آزمایش
۳۴	..... ۱-۵-۵- درجه‌بندی نمودن المان اندازه‌گیر جریان
۳۴	..... ۵-۱-۵- بدست آوردن تابع انتقال
۳۵	..... ۵-۶- داده‌های آزمایش
۳۶	..... ۵-۷- پرسش‌های آزمایش
۳۷	..... آزمایش تأثیر محل المان اندازه‌گیر در عملکرد حلقه کنترل
۳۷	..... ۶-۱- هدف آزمایش
۳۷	..... ۶-۲- دستاوردها از انجام آزمایش
۳۷	..... ۶-۳- کاربرد مفاهیم در صنعت
۳۸	..... ۶-۴- شرح دستگاه
۳۹	..... ۶-۵- روش انجام آزمایش
۳۹	..... ۶-۱-۵- بدست آوردن تابع انتقال
۳۹	..... ۲-۵-۶- کنترل اتوماتیک

۴۰-۶-۶- داده‌های آزمایش ۴۰

۴۰-۶-۷- پرسش‌های آزمایش ۴۰

۴۲- منابع ۴۲

کنترل فرآیند

۱-۱- مقدمه

علم مهندسی کنترل فرایند در عملیات خودکار و نظارت بر فرایندهای صنعتی پیچیده، امری ضروری و غیر قابل اجتناب است. اهداف اصلی کنترل فرایندهای شیمیایی، انجام فرایند در شرایط عملیاتی مورد نظر برای حصول نتیجه مناسب با در نظر گرفتن شرایط اقتصادی، ایمنی، زیست‌محیطی و غیره می‌باشد. امروزه سیستم‌های کنترل رکن اصلی هدایت فرایندها در مراکز بزرگ صنعتی محسوب می‌شوند. در حال حاضر سیستم‌های کنترل واحدهای صنعتی کاملاً مبتنی بر کامپیوتر می‌باشند. در دهه‌های گذشته این سیستم‌ها به صورت پنوماتیکی و الکترومکانیکی بودند و فضای زیادی برای نمایش وضعیت فرایند اشغال می‌کردند. در سیستم‌های کنترل، اطلاعات وضعیت فعلی فرایند توسط ادوات اندازه‌گیری جمع‌آوری و با مقدار مطلوب مقایسه می‌شود. با توجه به اطلاعات بازخورد و پاسخ کنترل کننده، المان نهایی کنترل تغییر وضعیت داده و با تغییر در مقدار ورودی سیستم، وضعیت فرایند را به مقدار مطلوب نزدیک می‌کند.

متداول‌ترین کنترل‌ها در صنعت، کنترل جریان، کنترل سطح، کنترل فشار و کنترل دما می‌باشد، لذا جهت آشنائی دانشجویان با سیستم‌های کنترلی، در این درس به بررسی این سیستم‌ها پرداخته می‌شود. در این آزمایشگاه هر یک از دستگاه‌ها توسط یک کامپیوتر مستقل و با استفاده از نرم افزار مربوطه کنترل می‌شوند و دانشجویان

می توانند با انتخاب نوع کنترلر تناسبی^۱، تناسبی-انتگرالی^۲ و تناسبی-انتگرالی-مشتقی^۳ از طریق نرم افزار، عمل کنترل فرایند را انجام داده و اطلاعات فرایند را به صورت آنلاین روی صفحه مانیتور مشاهده نمایند.

۲-۱- سیستم های کنترل

۱-۲-۱- سیستم حلقه باز^۴

یک فرایند شامل تعدادی ورودی و خروجی است. ورودی های فرایند به دو دسته قابل تغییر^۵ و اغتشاش^۶ قابل تقسیم می باشند. اگرچه ورودی های قابل تغییر توسط اپراتور قابل دستکاری می باشند، اما اپراتور عملاً قادر به ایجاد تغییر در ورودی های از نوع اغتشاش نبوده و مقدار این ورودی ها از بیرون فرایند تعیین می شود. سیستم حلقه باز، نوعی سیستم کنترل است که اپراتور بدون در نظر گرفتن مقدار خروجی، مقدار ورودی را تغییر می دهد. به عبارت دیگر در یک سیستم کنترل حلقه باز، خروجی برای مقایسه با ورودی، اندازه گیری نشده یا به عقب خورانده نمی شود. بنابراین، یک سیستم حلقه باز، دستور ورودی یا نقطه تنظیم را بدون توجه به نتیجه نهایی دنبال می کند. در یک سیستم کنترل حلقه باز هیچ اطلاعاتی درباره وضعیت خروجی وجود ندارد؛ در نتیجه امکان تصحیح خطاهایی که در اثر جابه جایی مقادیر از پیش تنظیم شده به وجود می آید، وجود ندارد. به طور کل، در یک سیستم با کنترل حلقه باز تا وقتی در سیستم اختلال وجود نداشته باشد فرایند به خوبی عمل می کند، اما اگر اختلال ناخواسته ای ایجاد شود خروجی ها از حد مطلوب خارج شده و سیستم از کنترل خارج می شود. در شکل ۱ دیاگرام یک سیستم حلقه باز نشان داده شده است.

¹ Proportional (P)

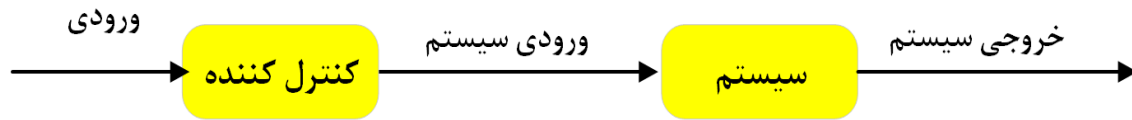
² Proportional-Integral (PI)

³ Proportional-Integral-derivative (PID)

⁴ Open Loop System

⁵ Manipulated variable

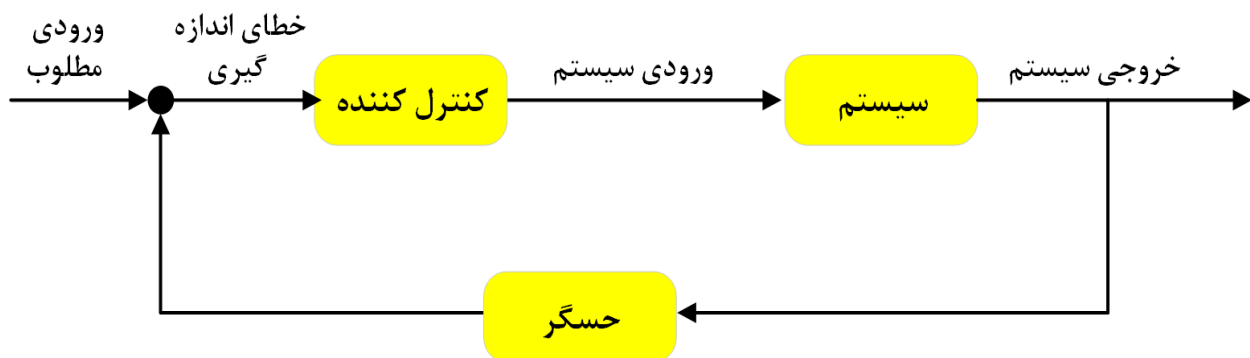
⁶ Disturbance



شکل ۱، دیاگرام یک سیستم حلقه باز

۱-۲-۲- سیستم حلقه بسته^۷

سیستم‌های کنترلی که مقدار خروجی اندازه‌گیری شده و بر اساس مقدار خروجی، ورودی تغییر داده می‌شود، پس‌خور^۸ نام دارد. سیستم‌های کنترلی که از سیگنال‌های برگشتی استفاده می‌کنند، سیستم حلقه بسته نام دارند. در سیستم‌های پس‌خور، جهت جبران اثر اختلال، خروجی سیستم اندازه‌گیری می‌شود و در صورتی که خروجی از مقدار مطلوب فاصله داشته باشد، تدابیر مناسب بر روی ورودی اعمال می‌شود. در شکل ۲ دیاگرام یک سیستم حلقه بسته نشان داده شده است.



شکل ۲، دیاگرام یک سیستم حلقه بسته

⁷ Close Loop System

⁸ Feedback

۳-۱- تخمین تابع انتقال فرایند

در یک سیستم در صورتی که درجه سیستم معلوم باشد به کمک روش‌های تخمین پارامترهای مدل مشخص می‌شود. در صورتی که درجه سیستم معلوم نباشد لازم است در ابتدا سیستم شناسایی شده و با یکی از سیستم‌های مشخص تقریب زده شود.

۳-۱-۱- سیستم‌های درجه اول همراه با تاخیر انتقالی^۹

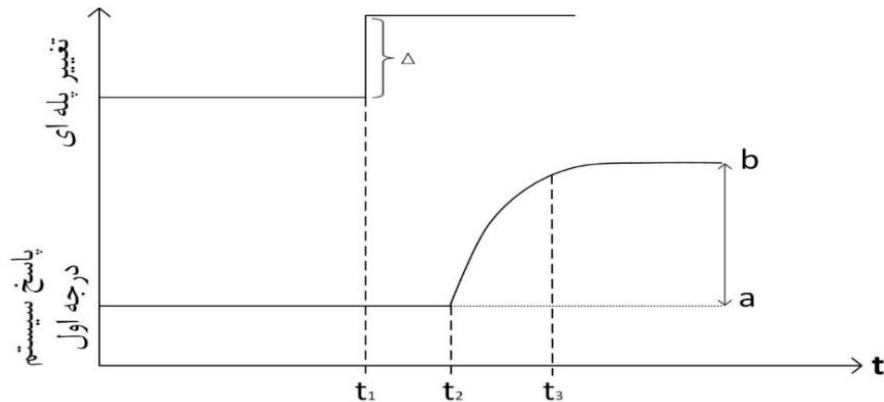
سیستم درجه اول سیستمی است که معادله دیفرانسیل بیان‌کننده آن درجه اول باشد. در فرایندهای شیمیایی به طور معمول پاسخ سیستم‌های مدار باز به ورودی‌های پله‌ای به صورت S شکل^{۱۰} می‌باشد. در فرایندهایی که به محض اعمال تغییر در ورودی، تغییر در خروجی مشاهده می‌شود، فرایند بدون تاخیر نامیده می‌شود. اما گاهی پاسخ فرایند همراه با مقداری تاخیر مشاهده می‌شود. داشتن یا نداشتن تاخیر به ماهیت فرایند و فواصل فیزیکی مربوط می‌شود. معادله زیر تابع انتقال یک فرایند درجه اول همراه با تاخیر انتقالی را نشان می‌دهد.

$$G(s) = \frac{K_P}{1 + \tau_P s} e^{-\tau_d s} \quad (1)$$

در این رابطه K_P بهره فرایند بوده و بر اساس نسبت میزان تغییرات المان کنترل‌شونده بر میزان تغییرات پله محاسبه می‌شود. τ_d زمان مرده فرایند بوده و بیانگر مدت زمانی است که طول می‌کشد تغییرات ورودی در خروجی قابل مشاهده باشد. τ ثابت زمانی فرایند بوده و مدت زمانی که طول می‌کشد تا پاسخ به ۶۳ درصد مقدار نهایی خود برسد. در شکل ۳ پاسخ یک سیستم درجه اول به ورودی پله‌ای نشان داده شده است.

⁹ First Order Plus Dead Time Model (FOPDT)

¹⁰ S- Shaped



شکل ۳، نمودار پاسخ سیستم درجه اول به ورودی پله‌ای

۱-۴- کنترل کننده‌ها

کنترل کننده‌ها مغز متفکر سیستم‌های کنترلی می‌باشند. خروجی‌ها به وسیله سیگنال‌های اندازه‌گیری شده، توسط ترانسمیتر به کنترل کننده انتقال می‌یابند و بر اساس اطلاعات فیدبک و تابعی که برای آن تعریف شده است، اقدامات لازم برای عکس‌العمل مورد نیاز اعمال می‌گردد. کنترل کننده‌ها با مقایسه سیگنال اندازه‌گیری شده با مقدار مطلوب و انجام محاسبات لازم، متغیر کنترل‌شونده را تنظیم می‌نمایند.

۱-۴-۱- کنترل کننده تناسبی

در کنترل کننده P بین خروجی و ورودی یک نسبت مستقیم با یک ضریب مشخص وجود دارد که آن را بهره^{۱۱} کنترلر می‌نامند. تابع انتقال کنترل کننده تناسبی به صورت زیر است:

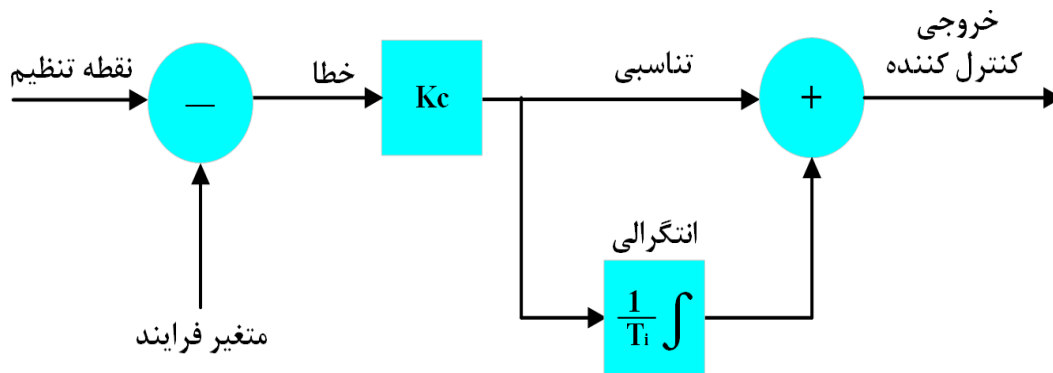
$$G_C = K_C \quad (۲)$$

^{۱۱} Gain

در کنترل کننده تناسبی وقتی خروجی سیستم به سمت مقدار مطلوب پیش می‌رود، خطا کاهش یافته و در نتیجه خروجی کنترلی نیز کم می‌گردد. بنابراین همواره، یک خطای ماندگار بین مقدار مطلوب و خروجی واقعی وجود خواهد داشت. سیگنال کنترل که بر اساس مقدار خطا محاسبه شده است به عنصر نهایی کنترل نظیر موتور، المنت، شیر و... اعمال می‌شود. جهت محاسبه مقدار خطا، خروجی سیستم توسط یک سنسور، اندازه‌گیری و از طریق مسیر فیدبک، در هر لحظه با مقدار مقرر مقایسه می‌شود. در کنترل کننده تناسبی می‌توان با افزایش بهره کنترل کننده مقدار خطا را کاهش داد اما افزایش مقدار بهره کنترل کننده باعث ناپایداری سیستم و نوسان خروجی می‌شود.

۱-۴-۲- کنترل کننده تناسبی - انتگرالی

به طور کلی، با ترم انتگرالی برای کاهش خطای حالت پایدار استفاده می‌شود. انتگرال‌گیری مقدار واقعی خطا نسبت به زمان باعث می‌شود مقدار خطای کم، منجر به صدور پاسخ بزرگ توسط کنترل کننده شود. مطابق با شکل ۴ کنترل کننده PI ترکیبی از کنترلر انتگرالی و تناسبی است که به صورت موازی به هم وصل شده‌اند و پاسخ سیستم کنترل مجموع دو پاسخ ترم‌های تناسبی و انتگرالی می‌باشد.



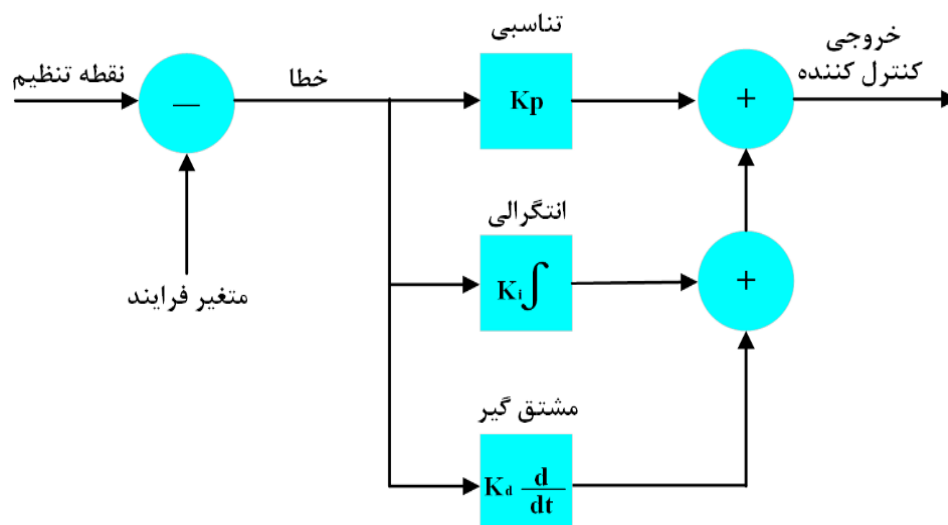
شکل ۴، کنترل کننده تناسبی - انتگرالی

جهت کم و زیاد کردن میزان تاثیر ترم انتگرال گیر در پاسخ نهایی، مقدار انتگرال در معکوس ثابت انتگرال ضرب می شود. پایداری همراه با نوسان، سرعت پاسخ مناسب و نداشتن خطای حالت ماندگار از ویژگی های این نوع کنترل کننده می باشد. تابع انتقال کنترل کننده تناسبی انتگرالی به صورت زیر است:

$$G_C = K_C \left(1 + \frac{1}{T_I S} \right) \quad (3)$$

۱-۴-۳- کنترل کننده تناسبی- انتگرالی- مشتقی

ترم مشتقی، یک خروجی بر اساس میزان تغییرات خطا تولید می کند. این نوع کنترل کننده نسبت به نویز اندازه گیری بسیار حساس است. این کنترل کننده همراه با کنترل PI قابل استفاده است. به طور کلی، وظیفه کنترل کننده PID تثبیت اندازه یک پارامتر روی یک مقدار تعیین شده یا مقرر می باشد. سیگنال خطا در واقع از تفاضل مقدار اندازه گیری شده متغیر و مقدار مقرر در هر لحظه از بازه زمان به دست می آید. مطابق با شکل ۵ مجموع عملکرد ترم های تناسبی، انتگرال گیر و مشتق گیر خروجی کنترل کننده PID را تولید می کند.



شکل ۵، کنترل کننده تناسبی- انتگرالی- مشتقی (PID)

جهت کم و زیاد کردن میزان تاثیر ترم مشتق در پاسخ نهایی، مقدار ترم مشتق در ثابت مشتق ضرب می شود. از ویژگی های پاسخ کنترل کننده PID می توان به پاسخ پایدار و نوسان محدود و خطای پایای صفر اشاره کرد. تابع انتقال کنترل کننده تناسبی- انتگرالی- مشتقی به صورت زیر است:

$$G_C = K_C \left(1 + \frac{1}{\tau_I S} + \tau_D S \right) \quad (4)$$

۵-۱- تنظیم کنترل کننده ها

پس از انتخاب نوع کنترل کننده، لازم است پارامترهای مناسب برای رسیدن به پاسخ مطلوب را به دست آورد. جهت محاسبه پارامترهای کنترل کننده روش های متعددی ارائه شده است. روش زیگلر نیکولز^{۱۲} و کوهن کن^{۱۳} دو روش قابل قبول جهت تنظیم پارامترهای سیستم کنترل می باشند.

۵-۱-۱ روش زیگلر نیکولز

زیگلر نیکولز یک روش تجربی برای به دست آوردن پارامترهای کنترل کننده P، PI و PID می باشد. روش های تعیین ضرایب زیگلر نیکولز به دو دسته، تعیین توسط سیستم حلقه باز و تعیین به وسیله سیستم حلقه بسته انجام می گیرد. قواعد زیگلر نیکولز جهت تنظیم کنترلرهای به کار رفته در سیستم های صنعتی که رفتار دینامیکی مشخصی ندارند، بسیار پر کاربرد می باشد. در این روش با استفاده از کنترلر تناسبی، سیستم را تا مرز ناپایداری و نوسان دائم پیش برده و سپس با استفاده از بهره بحرانی K_C و دوره تناوب بحرانی P_U پارامترهای کنترل کننده

¹² Ziegler-Nichols Method

¹³ Cohen- Coon Method

مطابق جدول زیر تعیین می‌گردد. در جدول ۱ نحوه محاسبه پارامترهای کنترل کننده به روش زیگلر نیکولز آورده شده است.

جدول ۱: پارامترهای کنترل کننده به روش زیگلر نیکولز

τ_D	τ_I	K_C	کنترل کننده
-	-	$0.5 K_U$	P
-	$P_U/1.2$	$0.45 K_U$	PI
$P_U/8$	$P_U/2$	$0.6 K_U$	PID

۲-۵-۱- روش کوهن کن

روش کوهن کون جهت تنظیم کنترل کننده‌های به کار رفته در سیستم‌های صنعتی که زمان مرده قابل توجهی دارند، بسیار قابل استفاده می‌باشد. ضرایب این روش با استفاده از جدول شماره ۲ و بر اساس پارامترهای تابع انتقال سیستم محاسبه می‌گردد. در این جدول r برابر با $\frac{\tau_d}{\tau}$ می‌باشد.

جدول ۲: پارامترهای کنترل کننده به روش کوهن کن

τ_D	τ_I	K_P	کنترل کننده
-	-	$\frac{1}{K r} \left(1 + \frac{r}{3}\right)$	P
-	$\tau_d \left(\frac{30 + 3r}{9 + 20r}\right)$	$\frac{1}{K r} \left(0.9 + \frac{r}{12}\right)$	PI
$\tau_d \left(\frac{4}{11 + 2r}\right)$	$\tau_d \left(\frac{32 + 6r}{13 + 8r}\right)$	$\frac{1}{K r} \left(\frac{4}{3} + \frac{r}{4}\right)$	PID

۱-۶- ایمنی در آزمایشگاه

لازم است در طی حضور در آزمایشگاه کنترل و انجام آزمایشات موارد زیر رعایت گردد.

- هنگامی که دستگاه روشن است از حرکت دادن آن خودداری نمایید.
- از ریختن هر نوع مایع به جز آب در داخل مخزن دستگاه خودداری نمایید.
- سطح آب مخزن تغذیه را چک کنید و در صورت خالی بودن تا ۸۰ درصد از آب پر نمایید. همچنین مراقب باشید آب مخزن سرریز نشود.
- در حین روشن بودن دستگاه و اجرای آزمایش، جهت مشاهده روند انجام آزمایش صورت خود را مستقیم بالای مخزن دستگاه قرار ندهید.
- فاصله خود را با دستگاه حفظ نمایید.
- در طول انجام آزمایش به صورت مرتب دستگاه را کنترل کنید.
- هرگز آزمایش در حال اجرا را بدون مراقبت رها نکنید.
- در صورت بروز مشکل در دستگاه فوراً آن را خاموش و به کارشناس آزمایشگاه اطلاع دهید.
- در انتهای آزمایش کنترل کنید که شیرهای تخلیه آب بسته هستند.
- پس از انجام آزمایش از خاموش بودن دستگاه و سیستم کامپیوتر اطمینان حاصل نمایید و محافظ برق را خاموش نمایید.
- پس از اتمام کار دستگاه‌ها کامل نظافت گردد.

آزمایش کنترل فشار

۲-۱- هدف از آزمایش

- مطالعه و بررسی فرایند کنترل فشار در یک مخزن
- محاسبه تابع انتقال فرایند و تنظیم پارامترهای کنترل کننده
- بررسی عملکرد کنترلرهای P، PI و PID در سیستم کنترل فشار

۲-۲- دستاوردها از انجام آزمایش

آزمایش کنترل فشار در دو حالت دستی و اتوماتیک انجام می‌شود. حالت دستی جهت شناسایی فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این حالت با اعمال یک تغییر پله مشخص، خروجی فرایند که فشار هوای فشرده درون مخزن می‌باشد دنبال شده و بر اساس روش‌های مرسوم پارامترهای تابع انتقال فرایند محاسبه می‌شود. در حالت اتوماتیک با استفاده از روش زیگلر نیکولز پارامترهای کنترل کننده P، PI و PID محاسبه شده و اثر تغییر در مقدار مقرر و حضور اغتشاش مورد بررسی قرار خواهد گرفت. لذا در طی آزمایش دانشجویان با مفاهیم تابع انتقال، نحوه محاسبه تابع انتقال و محاسبه پارامترهای کنترل کننده در یک سیستم واقعی آشنا می‌شوند و خواهند توانست تابع انتقال یک سیستم را با استفاده از داده‌ها شناسایی کنند.

۲-۳- کاربرد مفاهیم در صنعت

اندازه‌گیری دقیق فشار برای حصول اطمینان از ایمنی، کارآمدی و سطح کیفی مورد انتظار فرآیندها و سیستم‌ها

بسیار حیاتی است. کنترل فشار در مخازن و سایر تجهیزات فرایندی به دلیل مسائل ایمنی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. عدم کنترل فشار و افزایش آن در مخازن می‌تواند منجر به انفجار و ترکیدن مخزن گردد. در راکتورهای شیمیایی فشار بر میزان تبدیل تعادلی تاثیرگذار بوده و لازم است فشار راکتورها کنترل شود.

۲-۴- شرح دستگاه

در این فرایند آب از طریق یک پمپ و یک شیرکنترل برقی از یک مخزن و از پایین وارد یک مخزن استوانه‌ای سربسته می‌گردد. با بالا آمدن سطح آب در مخزن، هوا در بالای سر آن فشرده می‌شود. فشار از طریق یک المان اندازه‌گیر به کامپیوتر منتقل می‌شود. در شکل ۱ دستگاه کنترل فشار نشان داده شده است.



شکل ۱، دستگاه کنترل فشار

همچنین فشار تانک توسط یک فشارسنج عقربه‌ای روی دستگاه نمایش داده می‌شود. در پایین مخزن، آب از طریق یک شیر دستی و یک شیر کنترل دو وضعیتی باز-بسته می‌تواند تخلیه شود. اجزای اصلی دستگاه شامل شیر کنترل صنعتی، PLC Unit برای اتصال دستگاه به کامپیوتر، مخزن فشار از جنس استیل ضد زنگ، سنسور دقیق فشار صنعتی، شیر استیل جهت تغییر مقاومت سیستم، مخزن ذخیره آب از جنس استیل ضد زنگ، گیج فشار و پمپ صنعتی می‌باشد.

۲-۵- روش انجام آزمایش

۲-۵-۱- بدست آوردن تابع انتقال

دستگاه را از طریق دکمه روی بورد در کنار دستگاه روشن کنید. بعد از روشن کردن کامپیوتر، نرم افزار فرآیند را باز کرده و در صفحه کنترل، سیستم را در حالت کنترل دستی قرار دهید. سپس شیر کنترل را بر روی ۳۰٪ باز قرار دهید. شیر On-Off را در حالت بسته قرار داده و شیر دستی را باز کنید تا فشار هوا بر روی یک عدد ثابت قرار گیرد. هرگز نبایستی فشار تانک بیشتر از ۱۵ psig گردد. برای تعیین تابع فرآیند یک تغییر پله‌ای مثبت در میزان باز بودن شیر کنترل اعمال نمایید. به عنوان مثال میزان باز بودن شیر را از ۳۰٪ به ۵۰٪ افزایش داده و تغییرات در فشار تانک را ذخیره نمایید. با استفاده از منحنی بدست آمده، پارامترهای تابع انتقال را بدست آورید.

۲-۵-۲- کنترل اتوماتیک

جهت تعیین پارامترهای کنترل کننده به روش زیگلر نیکولز، شیر را در حالت ۳۰٪ باز قرار دهید. سپس سیستم را در حالت کنترل اتوماتیک قرار داده و با اجرای روش زیگلر نیکولز، پارامترهای کنترل PI، P و PID را بدست آورید. برای این کار کنترل کننده را در حالت تناسبی قرار داده و بهره کنترل را از مقدار کم به صورت آهسته

افزایش دهید تا زمانی که تغییرات فشار به صورت پیوسته نوسان نماید. دقت نمایید که اگر شیر کنترل در حالت باز و بسته شدن کامل قرار دارد سیستم کنترل ناپایدار است. با استفاده از پاسخ نوسانی K_U و P_U را بدست آورید. در ادامه بر اساس مقادیر به دست آمده برای ثوابت کنترل کننده، میزان توانایی سیستم را در دفع اغتشاشی نظیر تغییر در میزان باز بودن شیر دستی در دو حالت تغییر پله ای و ضربه بررسی کنید. همچنین مقدار مقرر را تغییر داده و توانایی سیستم کنترل در دنبال کردن مقدار مقرر را بررسی کنید.

۲-۶- داده‌های آزمایش

بر اساس آزمایشات انجام شده، پارامترهای تابع انتقال را در جدول ۱ و پارامترهای کنترل کننده به روش زیگلر نیکولز را در جدول ۲ وارد نمایید و در پایان آزمایش در اختیار کارشناس آزمایشگاه قرار دهید.

جدول ۱: پارامترهای تابع انتقال

K_P	τ_p (s)	τ_d (s)
-------	--------------	--------------

جدول ۲: پارامترهای کنترل کننده به روش زیگلر نیکولز

کنترل کننده	K_C	τ_I (min)	τ_D (min)
P			
PI			
PID			

۲-۷- پرسش‌های آزمایش

الف) برای کنترل فشار یک مخزن چه نوع کنترل‌کننده‌ای مناسب است؟ عملکرد کنترل‌کننده‌های P ، PI و PID را مقایسه کنید.

ب) به نظر شما با افزایش τ_I ، K_C و τ_D در سیستم کنترل، پاسخ چگونه تغییر می‌کند؟ توضیح دهید.

پ) آیا سیستم کنترل تنظیم شده توانست اثر اغتشاش را دفع کند؟ توضیح دهید.

ت) آیا سیستم کنترل تنظیم شده توانست مقدار مقرر را دنبال کند؟ توضیح دهید.

ث) بر اساس تابع انتقال به دست آمده، پارامترهای سیستم کنترل‌کننده را به روش کوهن‌کن محاسبه کرده و با مقادیر به دست آمده به روش زیگلر نیکولز مقایسه کنید؟

ج) با استفاده از سیمولینک، فرآیند را شبیه‌سازی کرده و مراحل آزمایش را روی فرآیند شبیه‌سازی شده تکرار کنید.

آزمایش کنترل دما

۳-۱- هدف آزمایش

- مطالعه و بررسی فرایند کنترل دما
- محاسبه تابع انتقال فرایند و تنظیم پارامترهای کنترل کننده
- بررسی عملکرد کنترلرهای P, PI و PID در سیستم کنترل دما

۳-۲- دستاوردها از انجام آزمایش

آزمایش کنترل دما در دو حالت دستی و اتوماتیک انجام می‌شود. در حالت دستی با اعمال یک تغییر پله در شدت جریان آب سرد یا گرم ورودی، تغییرات دمای آب سرد خروجی ثبت شده و بر اساس اطلاعات جمع آوری شده تابع انتقال فرایند به دست می‌آید. در حالت اتوماتیک با استفاده از روش زیگلر نیکولز پارامترهای کنترل کننده P, PI و PID محاسبه می‌شود. لذا در طی آزمایش دانشجویان با مفاهیم تابع انتقال، نحوه محاسبه تابع انتقال و محاسبه پارامترهای کنترل کننده در یک سیستم واقعی آشنا می‌شوند.

۳-۳- کاربرد مفاهیم در صنعت

کنترل دما در صنایع مختلف جهت مدیریت فرایند دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. به عنوان مثال کنترل دمای دقیق راکتورهای شیمیایی برای دستیابی به میزان تبدیل در واکنش‌های مطلوب، افزایش انتخاب پذیری تولید محصول مطلوب و از طرفی افزایش عمر کاتالیست حیاتی است. هم‌چنین کنترل دما در فرایندهای صنعتی علاوه بر مسائل ایمنی، به دلیل تاثیر در کیفیت تولید محصولات می‌بایست بسیار دقیق انجام گردد. به عنوان نمونه در

برج‌های تقطیر، کنترل دما به دلیل تاثیر مستقیم دما بر فشار و توزیع محصولات در بالا و پایین برج بسیار حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به تفاوت ضریب انبساط موارد، در بسیاری از تجهیزات دوار و ثابت کنترل دما مهم می‌باشد. در شرایط بحرانی افزایش دما موجب ذوب شدن قطعات خواهد شد. از طرفی اندازه‌گیری و کنترل دقیق دما در فرایندها باعث کاهش مصرف انرژی و در نتیجه افزایش بازدهی می‌شود. در زندگی روزمره نیز استفاده از کنترلر دما برای ثابت نگه داشتن دما در یخچال و فریزر که باعث تازه و سالم ماندن مواد غذایی می‌شود، ضروری است. در برخی موارد سیالات گازی بر اساس دبی حجمی خرید و فروش می‌شوند و چون دبی حجمی با دما تغییر می‌کند، در نتیجه دمای سیال باید دقیقاً کنترل شود.

۳-۴- شرح دستگاه

در این دستگاه دمای جریان آب که از طریق لوله کشی تامین می‌شود در یک مبدل حرارتی از نوع صفحه‌ای گرم و دمای آب در یک مقدار مطلوب کنترل می‌شود. جهت تأمین انرژی گرمایی مورد نیاز جهت گرمایش جریان آب سرد، آب درون یک تانک توسط یک المنت حرارتی تا ۶۰ درجه سانتیگراد گرم می‌شود. سیستم کنترل مخزن تامین آب گرم از نوع دو وضعیتی خاموش-روشن است. آب گرم از این مخزن توسط یک پمپ وارد مبدل حرارتی صفحه‌ای می‌گردد و پس از تبادل حرارت با آب سرد به مخزن اولیه برمی‌گردد. لذا آب گرم درون سیستم در حال چرخش می‌باشد. اجزای اصلی دستگاه شامل عملگر کنترلی جهت تنظیم توان هیتر، PLC Unit برای اتصال دستگاه به کامپیوتر، مبدل استیل، روماتر برای اندازه‌گیری و کنترل دستی دبی آب سرد، شیر کنترل برقی جهت تنظیم شدت جریان آب گرم، پمپ آب صنعتی جهت انتقال آب گرم، هیتر جهت گرمایش آب مخزن و سنسور دما می‌باشد. در شکل ۱ دستگاه کنترل دما نشان داده شده است.



شکل ۱، دستگاه کنترل دما

۳-۵- روش انجام آزمایش

۳-۵-۱- بدست آوردن تابع انتقال

دستگاه را از طریق دکمه روی بورد در کنار دستگاه روشن کنید. بعد از روشن کردن کامپیوتر، نرم افزار فرآیند را باز کرده و در صفحه کنترل، سیستم را در حالت کنترل دستی قرار دهید. جریان آب سرد را بر روی ۳ لیتر بر دقیقه تنظیم نموده و با تنظیم شیر کنترل دمای خروجی را در 35°C کنترل کنید. وقتی سیستم در حالت پایا قرار گرفت، یک تغییر پله‌ای مثبت، به عنوان مثال از ۴۰٪ به ۶۰٪، در شیر کنترل ایجاد نمایید و تغییرات دما را ذخیره نمایید. با توجه به منحنی تغییرات دما پارامترهای تابع انتقال را به دست آورید.

۳-۵-۲- کنترل اتوماتیک

پس از پایا شدن سیستم سیستم را در حالت اتوماتیک قرار داده و با اجرای روش زیگلر نیکولز، پارامترهای کنترل P ، PI و PID را بدست آورید. برای این کار کنترل کننده را در حالت تناسبی قرار داده و با افزایش مقدار K_C به طور آهسته از مقادیر کم به زیاد، مقادیر K_U و P_U را بدست آورید. توجه کنید بایستی تغییرات دمای خروجی نوسانی پایدار باشد. در ادامه بر اساس مقادیر به دست آمده برای ثوابت کنترل کننده، میزان توانایی سیستم را در دفع اغتشاشاتی نظیر تغییر در میزان باز بودن شیر دستی در دو حالت تغییر پله‌ای و ضربه بررسی کنید. هم‌چنین مقدار مقرر را تغییر داده و توانایی سیستم کنترل در دنبال کردن مقدار مقرر را بررسی کنید.

۳-۶- داده‌های آزمایش

بر اساس آزمایشات انجام شده، پارامترهای تابع انتقال را در جدول ۱ و پارامترهای کنترل کننده به روش زیگلر نیکولز را در جدول ۲ وارد نمایید. در پایان آزمایش در اختیار کارشناس آزمایشگاه قرار دهید.

جدول ۱: پارامترهای تابع انتقال

K_P	τ_p (s)	τ_d (s)
-------	--------------	--------------

جدول ۲: پارامترهای کنترل کننده به روش زیگلر نیکولز

کنترل کننده	K_C	τ_I (min)	τ_D (min)
P			
PI			
PID			

۳-۷- پرسش‌های آزمایش

الف) برای کنترل دما چه نوع کنترلی مناسب است؟ چرا؟

ب) با افزایش τ_I ، K_C و τ_D در حلقه کنترل، پاسخ چگونه تغییر می‌کند؟ چرا؟

پ) چرا در این آزمایش از عامل مشتق‌گیر استفاده شد؟ رفتار سیستم پس از استفاده از عامل مشتق‌گیر چگونه شد؟ علت را توضیح دهید.

ج) با استفاده از سیمولینک، فرآیند را شبیه‌سازی کرده و مراحل آزمایش را روی فرآیند شبیه‌سازی شده تکرار کنید.

د) بر اساس تابع انتقال به دست آمده، پارامترهای سیستم کنترل‌کننده را به روش کوهن‌کن محاسبه کرده و با مقادیر به دست آمده به روش زیگلر نیکولز مقایسه کنید؟

آزمایش کنترل سطح

۴-۱- هدف آزمایش

- مطالعه و بررسی فرایند کنترل سطح در یک مخزن
- آشنایی با مشخصات سنسورهای اندازه گیری
- محاسبه تابع انتقال فرایند و تنظیم پارامترهای کنترل کننده
- بررسی عملکرد کنترلرهای P, PI, PID و کنترل کننده دو وضعیتی On- Off در سیستم کنترل سطح

۴-۲- دستاوردها از انجام آزمایش

در این آزمایش دانشجویان با مفهوم کالیبراسیون سنسور و رفتار خطی وسایل اندازه گیری و نحوه کالیبراسیون یک سنسور صنعتی آشنا می شوند آزمایش کنترل سطح به دو صورت دستی و اتوماتیک انجام می شود. در حالت دستی با اعمال یک تغییر پله، تغییرات خروجی فرایند که ارتفاع سطح آب درون مخزن می باشد دنبال شده و بر اساس روش های مرسوم پارامترهای تابع انتقال فرایند محاسبه گردد. در حالت اتوماتیک با استفاده از روش زیگلر نیکولز پارامترهای کنترل کننده P, PI و PID محاسبه شده و اثر تغییر در مقدار مقرر و حضور اغتشاش مورد بررسی قرار خواهد گرفت. هم چنین در این آزمایش، عملکرد کنترل کننده دو وضعیتی باز- بسته^{۱۴} در کنترل سطح بررسی خواهد شد. لذا در طی آزمایش دانشجویان با مفاهیم تابع انتقال، نحوه محاسبه تابع انتقال و محاسبه پارامترهای کنترل کننده در یک سیستم واقعی آشنا می شوند.

¹⁴ on-off

۴-۳- کاربرد مفاهیم در صنعت

یکی از متغیرهایی که در صنایع فرآیندی اندازه‌گیری و کنترل آن مورد توجه می‌باشد، سطح سیال است. پایین آمدن سطح مخزن می‌تواند منجر به آسیب رسیدن به تجهیزات و خرابی پمپ‌ها شود. از سوی دیگر، بالا آمدن سطح مخزن نیز ممکن است سرریز شدن محصول و به خطر افتادن ایمنی را در پی داشته باشد. علاوه بر این موارد، سنجش صحیح سطح مخزن، در مصرف هزینه و زمان صرفه‌جویی می‌کند و موجب بهینه‌سازی عملکرد واحد صنعتی خواهد شد. حفظ دقت اندازه‌گیری، کیفیت محصول، ایمنی واحد عملیاتی و راندمان اقتصادی مواردی هستند که کنترل سطح سیال درون مخزن را در یک فرایند توجیه می‌کنند. سیستم‌های کنترل سطح در واحدهای عملیاتی مختلف از قبیل مخازن ذخیره‌سازی، دیگ‌های بخار و برج‌های خنک‌کننده دارای کاربرد وسیعی می‌باشد. علاوه بر آن در زندگی روزمره، نمونه‌های بسیاری از سطح‌سنجی سیالات نظیر سطح‌سنجی میزان بنزین در مخزن وسایل نقلیه و یا سطح‌سنجی میزان آب مجاز در کولرهای آبی استفاده می‌گردند.

۴-۴- شرح دستگاه

در این فرایند آب از طریق یک پمپ وارد یک مخزن استوانه‌ای شکل شفاف مدرج می‌شود. در پایین این مخزن یک شیر دستی و یک شیر کنترل از نوع باز-بسته قرار دارد. ارتفاع درون مخزن توسط یک المان اندازه‌گیر ارتفاع (فشار مایع در پایین مخزن) اندازه‌گیری و به کامپیوتر ارسال می‌شود. میزان باز و بسته بودن شیر کنترل برقی می‌تواند به طور دستی یا اتوماتیک از طریق کامپیوتر تنظیم شود. اجزای اصلی دستگاه شامل شیر کنترل صنعتی، PLC UNIT برای اتصال دستگاه به کامپیوتر، سنسور دقیق فشار صنعتی برای اندازه‌گیری سطح، مخزن پلکسی گلس مدرج شده با فلنج‌های استیل، لوله سرریز مخزن سطح، مخزن ذخیره آب از جنس استیل، پمپ صنعتی می‌باشد.



شکل ۱، دستگاه کنترل سطح

۴-۵- روش انجام آزمایش

۴-۵-۱- کالیبراسیون سنسور

با توجه به اینکه اندازه گیری فشار بر اساس اندازه گیری فشار وارد شده توسط سیال به انتهای مخزن انجام می شود لازم است با استفاده از ضریب تصحیح فشار محاسبه شده به ارتفاع سیال تبدیل شود.

$$h = \frac{P - P_0}{\rho g} \quad (1)$$

۴-۵-۲- بدست آوردن تابع انتقال

دستگاه را از طریق دکمه روی برد در کنار دستگاه روشن کنید. بعد از روشن کردن کامپیوتر، نرم افزار فرآیند را باز کرده و در صفحه کنترل، سیستم را در حالت کنترل دستی قرار دهید. شیر دستی پایین مخزن را بر روی ۲۰٪ باز و شیر on-off را در حالت بسته قرار دهید. سیستم را در حالت کنترل دستی قرار داده و با تنظیم نمودن درصد باز و بسته بودن شیر کنترل ارتفاع را بر روی ۵۰٪ کنترل نمایید. پس از آنکه سطح مایع بر روی ۵۰٪ تنظیم شد حال یک تغییر مثبت پله‌ای (۵٪+) در شیر کنترل وارد و منحنی تغییرات ارتفاع را ذخیره نمایید. با توجه به منحنی به دست آمده پارامترهای تابع انتقال را بدست آورید.

۴-۵-۳- کنترل اتوماتیک

تعیین پارامترهای کنترل کننده به روش زیگلر نیکولز سیستم را در حالت پایدار مرحله قبل قرار داده، حال سیستم را در حالت کنترل اتوماتیک و کنترل کننده را در حالت تناسبی قرار دهید و مقدار بهره کنترل را از مقدار کم به زیاد به صورت آهسته افزایش دهید تا زمانی که تغییرات ارتفاع مایع به صورت پیوسته نوسان نماید. دقت نمایید که چنانچه شیر کنترل به طور کامل باز و بسته می‌شود، سیستم کنترل در حالت ناپایدار قرار دارد. با استفاده از منحنی نوسانی بدست آمده و تغییر پله‌ای داده شده مقادیر K_U و P_U را بدست آورید. با استفاده از روش زیگلر نیکولز پارامترهای کنترل کننده P ، PI و PID را بدست آورید.

۴-۵-۳- کنترل کننده دو وضعیتی

در این حالت به جای تعیین مقدار مقرر می‌بایست یک محدوده برای ارتفاع مشخص کرد. پس از تعیین محدوده مقرر رفتار سیستم را بررسی نموده و با رفتار سیستم در حالت‌های قبل مقایسه کنید.

۴-۶- داده‌های آزمایش

بر اساس آزمایشات انجام شده، پارامترهای لازم جهت کالیبراسیون سنسور را در جدول ۱، تابع انتقال را در جدول ۲ و پارامترهای کنترل‌کننده را در جدول ۳ وارد نمایید. در پایان داده‌ها را در اختیار کارشناس قرار دهید.

جدول ۱: پارامترهای لازم جهت کالیبراسیون سنسور اندازه‌گیری سطح

Tank Level (mm)	Monitoring Number (mm)
-----------------	------------------------

جدول ۲: پارامترهای تابع انتقال به روش دستی

τ_d (s)	τ_p (s)	K_P
--------------	--------------	-------

جدول ۳: پارامترهای کنترل‌کننده به روش زیگلر نیکولز

τ_D (min)	τ_I (min)	K_C	کنترل‌کننده
----------------	----------------	-------	-------------

P

PI

PID

۴-۷- پرسش‌های آزمایش

الف) برای کنترل سطح چه نوع کنترلی مناسب است؟ چرا؟

ب) با توجه به تابع انتقال بدست آمده در مورد نوع فرایند قضاوت کنید.

- پ) کدامیک از کنترل‌کننده‌ها شبیه کنترل‌کننده دو وضعیتی می‌باشد؟ علت را توضیح دهید.
- ت) با استفاده از سیمولینک، فرآیند را شبیه‌سازی کرده و مراحل آزمایش را روی فرآیند شبیه‌سازی شده تکرار کنید.
- ج) بر اساس تابع انتقال به دست آمده، پارامترهای سیستم کنترل‌کننده را به روش کوهن‌کن محاسبه کرده و با مقادیر به دست آمده به روش زیگلر نیکولز مقایسه کنید؟

آزمایش کنترل جریان

۵-۱- هدف آزمایش

- نحوه کالیبراسیون سنسور جریان سنج
- محاسبه تابع انتقال فرایند و تنظیم پارامترهای کنترل کننده
- بررسی عملکرد کنترلرهای P، PI و PID در سیستم کنترل جریان

۵-۲- دستاوردها از انجام آزمایش

آزمایش کنترل جریان به دو صورت دستی و اتوماتیک انجام می شود. پس از کالیبره کردن سنسور جریان سنج، در حالت دستی بایستی با اعمال یک تغییر پله مشخص، تغییرات خروجی فرایند که شدت جریان آب در لوله می باشد دنبال شود تا مقدار خروجی ثابت گردد. در حالت اتوماتیک با استفاده از روش زیگلر نیکولز پارامترهای کنترل کننده P، PI و PID محاسبه شده و اثر تغییر در مقدار مقرر و حضور اغتشاش مورد بررسی قرار خواهد گرفت. لذا در طی آزمایش دانشجویان با نحوه کالیبراسیون سنسور جریان سنج، مفاهیم تابع انتقال، نحوه محاسبه تابع انتقال و محاسبه پارامترهای کنترل کننده در یک سیستم واقعی آشنا می شوند.

۵-۳- کاربرد مفاهیم در صنعت

کنترل جریان در صنایع مختلف به دلیل بهینه سازی فرایندها و اطمینان از کارایی سیستم بسیار حائز اهمیت می باشد. کنترل جریان در صنعت سبب ارزیابی و بهینه سازی عملکرد سیستم های پمپاژ، کنترل پیشرفته بر کیفیت

محصول، ثابت نگه داشتن پارامترهای تولید، به حداقل رساندن هدررفت جریان و کاهش خطرات ایمنی در واحد می‌گردد. کنترل دبی جریان مواد شیمیایی مانند اسیدها، قلیاها، حلال‌ها و سایر مواد شیمیایی در فرایندهای تولید، مخلوط کردن و تفکیک مواد شیمیایی و نیز در تأسیسات آب و فاضلاب اندازه‌گیری دبی جریان آب شهری، فرایندهای تصفیه آب و فاضلاب، توزیع آب و کنترل سیستم‌های آب و فاضلاب، بسیار مهم و حیاتی می‌باشد.

۵-۴- شرح دستگاه

شکل ۱ دستگاه کنترل جریان را نشان می‌دهد. این دستگاه شامل یک مخزن آب، پمپ، روتامتر، المان اندازه‌گیر جریان الکتریکی و یک شیر کنترل برقی می‌باشد. آب از مخزن توسط یک پمپ با عبور از درون یک روتامتر پس از گذر از وسیله اندازه‌گیر جریان و شیر کنترل به مخزن اولیه برمی‌گردد.



شکل ۱، دستگاه کنترل جریان

هدف از انجام آزمایش کالیبره کردن سنسور اندازه‌گیر شدت جریان و کنترل جریان در حال عبور از خط لوله توسط تغییر یک شیر کنترل برقی می‌باشد. اجزای اصلی دستگاه شامل شیر کنترل صنعتی، PLC Unit برای اتصال دستگاه به کامپیوتر، سنسور جریان صنعتی، پمپ صنعتی، یک عدد روتامتر برای نمایش جریان آب، شیر جهت تغییر مقاومت سیستم و ساخت سیستم و مخزن ذخیره آب از جنس استیل ضد زنگ می‌باشد.

۵-۵-۵- روش انجام آزمایش

۵-۵-۱- درجه‌بندی نمودن المان اندازه‌گیر جریان

دستگاه را از طریق دکمه روی برد در کنار دستگاه روشن کنید. بعد از روشن کردن کامپیوتر، نرم افزار فرآیند را باز کرده و در صفحه کنترل، سیستم را در حالت کنترل دستی قرار دهید. برای این منظور جریان درون خط لوله را از کم به زیاد توسط باز نمودن شیر کنترل افزایش دهید و در هر نقطه میزان جریان را به کمک روتامتر یادداشت کرده و خروجی المان اندازه‌گیری را ذخیره کنید. این کار را برای ده نقطه تکرار کرده و منحنی تغییرات جریان بر حسب سیگنال خروجی از المان اندازه‌گیر رسم نمایید. آیا منحنی خطی است؟ چرا؟

۵-۵-۱- بدست آوردن تابع انتقال

سیستم را در حالت کنترل دستی قرار دهید. با تنظیم درصد باز و بسته بودن شیر کنترل از طریق کامپیوتر جریان را بر روی 250 L h^{-1} کنترل نمایید. پس از یکنواخت شدن پاسخ، یک تغییر پله‌ای مثبت (مثلاً $+10\%$) در میزان باز بودن شیر کنترل ایجاد کنید و تغییرات جریان را تا حالت یکنواخت شدن ذخیره کنید. با توجه به منحنی بدست آمده، پارامترهای تابع انتقال را بدست آورید.

۵-۵-۲- کنترل اتوماتیک

جهت تعیین پارامترهای کنترل به روش زیگلر نیکولز، سیستم را در حالت کنترل اتوماتیک از نوع تناسبی قرار داده و مقدار مقرر جریان را بر روی 250 L h^{-1} قرار دهید. بهره کنترل کننده را بر روی یک مقدار کم قرار دهید. حال مقدار بهره کنترل کننده را آهسته افزایش دهید و پاسخ سیستم را دنبال کنید. پس از این که پاسخ، نوسانی گردید مقادیر K_U و P_U را بدست آورید. در ادامه بر اساس مقادیر به دست آمده برای ثوابت کنترل کننده، میزان توانایی سیستم را در دفع اغتشاشی نظیر تغییر در میزان باز بودن شیر دستی در دو حالت تغییر پله‌ای و ضربه بررسی کنید. هم‌چنین مقدار مقرر را تغییر داده و توانایی سیستم کنترل در دنبال کردن مقدار مقرر را بررسی کنید.

۵-۶- داده‌های آزمایش

بر اساس آزمایشات انجام شده، پارامترهای لازم جهت محاسبه ضریب تصحیح سنسور جریان سنج را در جدول ۱ تابع انتقال را در جدول ۲ و پارامترهای کنترل کننده به روش زیگلر نیکولز را در جدول ۳ وارد نمایید. در پایان آزمایش در اختیار کارشناس آزمایشگاه قرار دهید.

جدول ۱: پارامترهای لازم جهت محاسبه ضریب تصحیح سنسور جریان سنج

Control Valve	Rotameter	Flow Sensor	Correcting Factor
avg			

جدول ۲: پارامترهای تابع انتقال

τ_d (s)	τ_p (s)	K_P
--------------	--------------	-------

جدول ۳: پارامترهای کنترل کننده به روش زیگلر نیکولز

τ_D (min)	τ_I (min)	K_C	کنترل کننده
			P
			PI
			PID

۵-۷- پرسش‌های آزمایش

الف) برای کنترل جریان چه نوع کنترلی مناسب است؟ چرا؟

ب) ثابت زمانی شیر کنترل را با ثابت زمانی فرایند مقایسه نمایید.

پ) در کنترل PID با افزایش τ_D پاسخ چگونه تغییر می‌نماید؟ علت را توضیح دهید. جهت بهبود رفتار حلقه کنترل چه پیشنهادی دارید؟

ت) به نظر شما چگونه می‌توان پاسخ را سریع‌تر نمود؟

ث) رفتار کنترل کننده P و PID را هنگام وجود اغتشاش در سیستم مقایسه نمایید.

ج) با استفاده از سیمولینک، فرآیند را شبیه‌سازی کرده و مراحل آزمایش را روی فرآیند شبیه‌سازی شده تکرار کنید.

چ) بر اساس تابع انتقال به دست آمده، پارامترهای سیستم کنترل کننده را به روش کوهن‌کن محاسبه کرده و با مقادیر به دست آمده به روش زیگلر نیکولز مقایسه کنید؟

آزمایش تأثیر محل المان اندازه‌گیر در عملکرد حلقه کنترل

۶-۱- هدف آزمایش

- کنترل دمای هوای خروجی با تنظیم میزان انرژی (وات) ورودی توسط المان حرارتی
- محاسبه تابع انتقال فرایند و تنظیم پارامترهای کنترل‌کننده
- بررسی عملکرد کنترلرهای P، PI و PID بر سیستم کنترلی

۶-۲- دستاوردها از انجام آزمایش

آزمایش تأثیر محل المان اندازه‌گیر در عملکرد حلقه کنترل، به دو صورت دستی و اتوماتیک انجام می‌شود. در حالت دستی با اعمال یک تغییر پله مشخص، تغییرات خروجی فرایند که دمای هوای خروجی از لوله می‌باشد، دنبال می‌شود. سپس بر اساس روش‌های مرسوم پارامترهای تابع انتقال فرایند محاسبه می‌شود. در حالت اتوماتیک با استفاده از روش زیگلر نیکولز پارامترهای کنترل‌کننده P، PI و PID محاسبه شده و اثر تغییر در مقدار مقرر و حضور اغتشاش مورد بررسی قرار خواهد گرفت. لذا در طی آزمایش دانشجویان با مفاهیم تابع انتقال، نحوه محاسبه تابع انتقال و محاسبه پارامترهای کنترل‌کننده در یک سیستم واقعی آشنا می‌شوند.

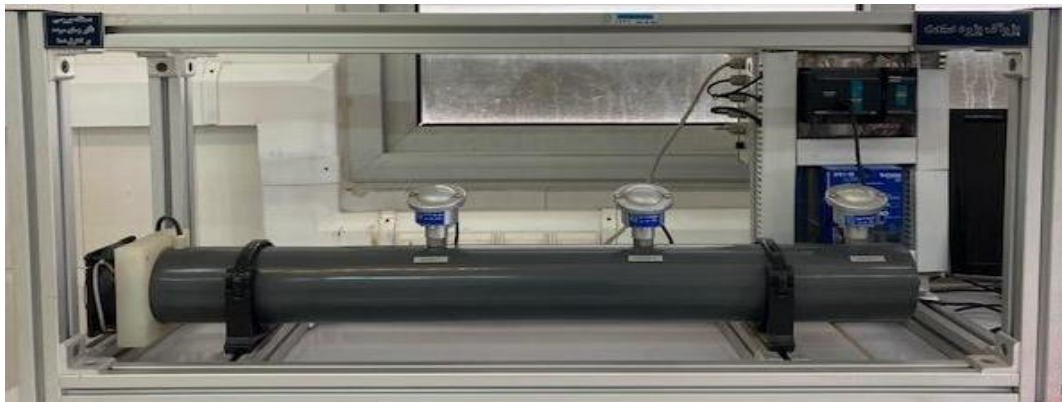
۶-۳- کاربرد مفاهیم در صنعت

سنسورها به عنوان اساسی‌ترین تجهیزات برای به دست آوردن داده‌ها و ابزار اندازه‌گیری در عملیات صنعتی تلقی می‌شوند. با توجه به هدف مورد نظر و همچنین بر اساس ویژگی‌های هر حسگر، استفاده از هر حسگر محدود به

کاربردهایی خاص می‌باشد. این کاربردها بر اساس محل استفاده، هدف و نوع سنسور به روش‌های مختلفی قابل اجرا هستند. به عنوان مثال در صنعت نفت و گاز، سنسورهای مختلفی جهت اندازه‌گیری مداوم برای تشخیص، نظارت و انتشار گازها قابل استفاده هستند. دیگر سنسورهای مورد استفاده در صنعت نفت شامل سنسورهای فشار، سطح و جریان می‌باشند.

۶-۴- شرح دستگاه

در این فرایند هوا توسط یک دمنده وارد یک لوله شده و از با گذر از روی المان حرارتی گرم شده و از طرف دیگر خارج می‌شود. این دستگاه مانند سشوار عمل می‌نماید. دمای هوای گرم توسط سه ترموکوپل که در فواصل مختلف نسبت به فرایند قرار دارند اندازه‌گیری می‌شود. هدف از انجام این آزمایش کنترل دمای هوای خروجی توسط تنظیم میزان انرژی (وات) ورودی است که توسط المان حرارتی به هوا داده می‌شود و با تغییر محل المان اندازه‌گیر تأثیر آن بر روی حلقه کنترل بررسی می‌شود. این دستگاه آزمایشگاهی از یک لوله مجهز به المنت حرارتی، هیتر با قابلیت تنظیم توان، سنسور دمای صنعتی، فن دمنده، PLC Unit برای اتصال دستگاه به کامپیوتر و جعبه برق تشکیل شده است.



شکل ۱، دستگاه تاثیر زمان مرده بر کنترل دمای هوا

۶-۵-۵- روش انجام آزمایش

۶-۵-۱- بدست آوردن تابع انتقال

دستگاه را از طریق دکمه روی برد در کنار دستگاه روشن کنید. بعد از روشن کردن کامپیوتر، نرم افزار فرآیند را باز کرده و در صفحه کنترل، سیستم را در حالت کنترل دستی قرار دهید. سپس با تنظیم توان المان حرارتی دمای هوای خروجی را بر روی 30°C کنترل نمایید. برای تعیین تابع انتقال، پس از یکنواخت شدن شرایط فرایند یک تغییر پله‌ای مثبت در توان المانت حرارتی ایجاد کرده و تغییرات دمای هوای خروجی بدست آمده توسط ترموکوپل یک را ذخیره نمایید. با استفاده از به منحنی به دست آمده، پارامترهای تابع انتقال را بدست آورید. در مرحله بعد، توان المانت حرارتی را ثابت قرار داده و به سیستم اجازه دهید به حالت پایا برسد (توان المانت زیر ۵۰٪ نباشد). اکنون با اعمال تغییر پله‌ای در توان فن سیستم تغییرات دمای هوای خروجی را ثبت کرده و پارامترهای تابع انتقال برای سیستم جدید را محاسبه کنید.

۶-۵-۲- کنترل اتوماتیک

سیستم را در حالت پایا با اعمال توان ۳۰٪ قرار دهید. سپس سیستم را در حالت اتوماتیک و کنترل کننده را در حالت تناسبی قرار دهید و بهره کنترل کننده را از مقدار کم به صورت آهسته افزایش دهید و در هر مرحله تغییرات دما را بررسی کنید تا این که تغییرات دما نوسانی پایدار گردد. با توجه به منحنی تغییرات دما، پارامترهای کنترل کننده به روش زیگلر نیکولز را در سه حالت P، PI و PID بدست آورید. در روش کوهن کن که بر اساس سیستم‌های تاخیردار مرتبه اول تعریف می‌گردد، معیار اصلی حذف اغتشاشات است. ضرایب کنترل کننده‌های P، PI و PID را از روش به روش کوهن کن نیز محاسبه و نتایج بدست آمده را با روش زیگلر نیکولز مقایسه کنید.

۶-۶- داده‌های آزمایش

بر اساس آزمایشات انجام شده، پارامترهای تابع انتقال را در جدول ۱ و پارامترهای کنترل کننده به روش زیگلر نیکولز و کوهن کن را به ترتیب در جداول ۲ و ۳ وارد و در پایان آزمایش در اختیار کارشناس آزمایشگاه قرار دهید.

جدول ۱: پارامترهای تابع انتقال به روش دستی

τ_d (s)	τ_p (s)	K_P
--------------	--------------	-------

جدول ۲: پارامترهای کنترل کننده به روش زیگلر نیکولز

τ_D (min)	τ_I (min)	K_C	کنترل کننده
			P
			PI
			PID

جدول ۳: پارامترهای کنترل کننده به روش کوهن کن

τ_D (min)	τ_I (min)	K_C	کنترل کننده
			P
			PI
			PID

۶-۷- پرسش‌های آزمایش

الف) برای کنترل دما در این فرایند چه نوع کنترل کننده‌ای مناسب است؟ چرا؟

- ب) به نظر شما آیا می‌توان با جستجو مقادیر بهتری برای پارامترهای کنترل کننده پیدا کرد؟
- پ) افزایش فاصله بین المان اندازه‌گیر و فرایند، چه تاثیری بر عملکرد حلقه کنترل دارد؟ این تاثیر را با توجه به مکان هندسی ریشه‌ها و پاسخ فرکانسی توضیح دهید.
- ت) چگونه می‌توان زمان مرده ناشی از دور کردن المان اندازه‌گیر را جهت بهبود پاسخ جبران نمود؟
- ث) چرا در صنایع المان اندازه‌گیر را در بعضی مواقع دورتر از فرایند قرار می‌دهند؟
- ج) با استفاده از سیمولینک، فرآیند را شبیه‌سازی کرده و مراحل آزمایش را روی فرآیند شبیه‌سازی شده تکرار کنید.

منابع

- 1) Coughanowr DR, Koppel LB. Process systems analysis and control. New York: McGraw-Hill; 1965
- 2) Seborg DE, Edgar TF, Mellichamp DA, Doyle III FJ. Process dynamics and control. John Wiley & Sons; 2016