

۱۴۰۲.۰۲.۲۷

آزمایشگاه کنترل فرایندهای مهندسی شیمی

(به همراه آزمایشات مدلسازی تجربی و سیستم‌های

کنترل رایانه‌ای)

www.ketab.ir

تالیف:

دکتر علی فرضی

دکتر ابوالفضل کریمی



.....	.....	.....	.....
ی	.....	.....	.....
۱	.....	.....	.....
۱	.....	.....	.....
۳	.....	.....	.....
۹	.....	.....	.....
۹	.....	.....	.....
۱۰	.....	.....	.....
۱۰	.....	.....	.....
۱۰	.....	.....	.....
۱۰	.....	.....	.....
۱۲	.....	.....	.....
۱۲	.....	.....	.....
۱۴	.....	.....	.....
۱۴	.....	.....	.....
۱۶	.....	.....	.....
۲۰	.....	.....	.....
۲۲	.....	.....	.....
۲۲	.....	.....	.....
۲۵	.....	.....	.....

- ۲۶ ..... کنترل کننده تناسبی ۱-۳-۳
- ۲۷ ..... کنترل کننده قطع و وصلی ۲-۳-۳
- ۲۷ ..... کنترل کننده تناسبی انتگرالی (PI) ۳-۳-۳
- ۲۹ ..... کنترل کننده تناسبی مشتقی (PD) ۴-۳-۳
- ۳۰ ..... کنترل کننده تناسبی انتگرالی مشتقی (PID) ۵-۳-۳
- ۳۰ ..... معیارهای اجرایی ۶-۳-۳
- ۳۲ ..... کنترل کننده‌های بادی ۷-۳-۳
- ۳۶ ..... کنترل کننده‌های الکترونیکی ۸-۳-۳
- ۳۷ ..... شکل ظاهری کنترل کننده ۴-۳
- ۴۰ ..... انگیزه افزودن شیوه‌های کنترل، انرژی و مشتقی ۵-۳
- ۴۲ ..... فصل چهارم
- ۴۲ ..... روش‌های پیدا کردن ثابت‌های کنترل کننده
- ۴۳ ..... مقدمه ۱-۴
- ۴۳ ..... روش نوسانات دائم ۲-۴
- ۴۵ ..... روش منحنی واکنش ۳-۴
- ۴۶ ..... روش سوم: تقریباً همان روش اول است اما با مقداری تغییر ۴-۴
- ۴۷ ..... روش میرایی ربعی ۵-۴
- ۴۸ ..... میزان کردن یک سیستم آشناری ۶-۴
- ۵۰ ..... فصل پنجم
- ۵۰ ..... مدلسازی تجربی با استفاده از ورودی پله ای
- ۵۱ ..... هدف ۱-۵
- ۵۱ ..... تئوری ۲-۵

- ۵۱-۱-۲-۵ مدل مرتبه اول.....
- ۵۳-۲-۲-۵ مدل مرتبه دوم.....
- ۵۷-۳-۵ تابع انتقال سیستم مخزن فشار.....
- ۵۸-۱-۱-۵ شرح دستگاه.....
- ۶۰-۴-۱ آزمایش ها.....
- ۶۰-۱-۴-۵ آزمایش ۱ سیستم مرتبه اول.....
- ۶۱-۲-۴-۵ آزمایش ۲: سیستم مرتبه اول با ظرفیت جانبی.....
- ۶۲-۳-۴-۵ آزمایش ۳: سیستم مرتبه دوم با اثر متقابل.....
- ۶۳-۴-۴-۵ آزمایش ۴: سیستم مرتبه دوم بدون اثر متقابل.....
- ۶۴-۵-۴-۵ آزمایش ۵: تعیین مشخصه سیستم جداساز.....
- ۶۴-۶-۴-۵ محاسبات و رسم سازه ها.....
- ۶۶ فصل ششم.....
- ۶۶ مدلسازی تجربی با استفاده از ورودی سینوسی.....
- ۶۷-۱-۶ هدف.....
- ۶۷-۲-۶ تئوری.....
- ۶۸-۱-۲-۶ سیستم مرتبه اول.....
- ۶۹-۲-۲-۶ سیستم مرتبه دوم.....
- ۷۰-۳-۶ به دست آوردن مدل تجربی با استفاده از اطلاعات پاسخ فرکانسی.....
- ۷۲-۴-۶ به دست آوردن تابع انتقال مدار RC.....
- ۷۳-۵-۶ شرح دستگاه.....
- ۷۳-۱-۵-۶ پانل آزمایش.....
- ۷۴-۲-۵-۶ اودیو ژنراتور.....

۷۴	۳- اسیلوسکوپ
۷۵	آزمایش ها
۷۶	۱- آزمایش ۱: سیستم مرتبه ۱
۷۶	۲- آزمایش ۲: سیستم مرتبه اول با ظرفیت جانبی
۷۷	۳- آزمایش ۳: سیستم مرتبه ۲ با اثر متقابل
۷۷	۴- آزمایش ۴: سیستم مرتبه ۲ بدون اثر متقابل
۷۸	۵- آزمایش ۵: تعیین حدهای غیر برای سیستم مرتبه اول
۷۸	۶- محاسبات و رسم نمودارها
۷۹	
۷۹	مبدل حرارتی صفحه ای به کمک رایانه
۸۰	هدف
۸۰	تئوری
۸۳	شرح دستگاه
۸۴	آزمایش ها
۸۴	۱- آزمایش اول: تعیین مشخصه شیر کنترل
۸۵	۲- آزمایش دوم: به دست آوردن پارمترهای PID به روش ورودی پله‌ای
۸۶	۳- آزمایش سوم: کنترل خودکار دمای سیال فرایند
۸۸	ر به کمک رایانه
۸۹	هدف
۸۹	شرح دستگاه
۹۰	آزمایش ها

- ۹۰-۱-۳-۸ ..... آزمایش اول: کالیبراسیون حسگر فشار
- ۹۱-۲-۳-۸ ..... آزمایش دوم: کنترل تناسبی فشار در خط لوله
- ۹۲-۳-۳-۸ ..... آزمایش سوم: کنترل تناسبی-انتگرالی فشار در خط لوله
- ۹۲-۴-۳-۸ ..... آزمایش چهارم: کنترل تناسبی-انتگرالی-مشتقی فشار در خط لوله
- ۹۲-۵-۳-۸ ..... آزمایش پنجم: کنترل آبخاری جریان و فشار (Cascade PT2)
- ۹۴ ..... نهم
- ۹۴ ..... کنترل ارتفاع و دبی مایع کمک رایانه
- ۹۵-۱- ..... هدف
- ۹۵-۲- ..... شرح دستگاه
- ۹۶-۳- ..... آزمایش ها
- ۹۶-۱-۳-۹ ..... آزمایش اول: کالیبراسیون سنسور
- ۹۷-۲-۳-۹ ..... آزمایش دوم: کنترل خودکار سطح آب توسط حسگرهای high-low
- ۹۸-۳-۳-۹ ..... آزمایش سوم: کنترل ارتفاع
- ۹۸-۴-۳-۹ ..... آزمایش چهارم: کنترل دبی

صفحه	عنوان
۴	شکل ۱-۱. ساعت آبی کتسیبیوس
۵	شکل ۲-۱. چراغ روزه سوز فیلون
۷	شکل ۳-۱. شیب بخار جیمز وات
۱۱	شکل ۱-۲. سیستم کنترلی حلقه باز
۱۳	شکل ۱-۳. نمودار چه ای یک سیستم کنترل ساده
۱۴	شکل ۲-۳. اجزای اصلی شیر
۱۵	شکل ۳-۳. شیر با مشخصه تقریباً N-O
۱۷	شکل ۴-۳. شیر با دو نشیمنگاه
۱۷	شکل ۵-۳. شیر با یک نشیمنگاه از نوع Port et
۱۸	شکل ۶-۳. شیر با یک نشیمنگاه از نوع V Port
۱۸	شکل ۷-۳. شیر با یک نشیمنگاه از نوع Stabilflo
۱۹	شکل ۸-۳. شیر سه راه تناسبی
۱۹	شکل ۹-۳. شیر سه راه با دو توپی
۲۰	شکل ۱۰-۳. شیر سه راه با دو توپی دیسکی
۲۱	شکل ۱۱-۳. شیر سولونوئید
۲۲	شکل ۱۲-۳. شیر موتوری
۲۳	شکل ۱۳-۳. نمودار شماتیک یک کنترل کننده خیلی حساس
۲۸	شکل ۱۴-۳. پاسخ یک کنترل کننده PI به یک تغییر پله ای واحد در خطا
۳۰	شکل ۱۵-۳. پاسخ یک کنترل کننده PD به یک ورودی خطی در خطا



- شکل ۳-۱۶. شکل‌های مختلف پاسخ حلقه بسته به اعمال یک تغییر پله ای در مقدار مقرر،
- الف- پاسخ نوسانی با فرارفت، ب- پاسخ‌های غیر نوسانی..... ۳۲
- شکل ۳-۱۶. مشخصه تقویت کننده اصلی..... ۳۳
- شکل ۳-۷. شمای تقویت کننده اصلی..... ۳۳
- شکل ۳-۱۸. مشخصه تقویت کننده مرحله دوم..... ۳۴
- شکل ۳-۱۹. تقویت کننده مرحله دوم..... ۳۴
- شکل ۳-۲۰. کنترل کننده تناوب..... ۳۵
- شکل ۳-۲۱. کنترل کننده  $P_1$  اادی..... ۳۵
- شکل ۳-۲۲. کنترل کننده  $P_2$  اادی..... ۳۶
- شکل ۳-۲۳. استاندارد ولتاژ در اندازه گیری و کنترل فشار..... ۳۷
- شکل ۳-۲۴. صفحه جلویی کنترل کننده..... ۳۹
- شکل ۳-۲۵. شکل ظاهری کنترل کننده..... ۳۹
- شکل ۳-۲۶. پاسخ یک سیستم کنترل نمونه که اثر ضربه‌های مختلف کنترل را نشان می‌دهد..... ۴۱
- شکل ۴-۱. انواع منحنی پاسخ برای کنترل کننده تناسبی..... ۴۴
- شکل ۴-۲. منحنی واکنش..... ۴۵
- شکل ۴-۳. روش میرایی ربعی..... ۴۷
- شکل ۵-۱. پاسخ پله ای سیستم مرتبه اول و چگونگی تخمین ثابت زمانی..... ۵۲
- شکل ۵-۲. پاسخ پله ای سیستم مرتبه دوم به ازای مقادیر مختلف  $\zeta$ ..... ۵۴
- شکل ۵-۳. منحنی‌های هاریوت برای محاسبه ثابت‌های زمانی سیستم مرتبه دوم..... ۵۵
- شکل ۵-۴. منحنی اسمیت برای به دست آوردن پارامترهای سیستم مرتبه ۲..... ۵۶
- شکل ۵-۵. سیستم مخزن فشار..... ۵۷

- ۵۹ ..... دستگاه آزمایش کنترل فشار
- ۶۰ ..... مدار سیستم مرتبه اول
- ۶۱ ..... مدار سیستم مرتبه اول با ظرفیت جانبی
- ۶۲ ..... مدار سیستم مرتبه دوم با اثر متقابل
- ۶۳ ..... مدار سیستم مرتبه دوم بدون اثر متقابل
- ۶۴ ..... مدار تعیین مشخصه سیستم جداساز
- ۷۰ ..... منحنی بد برای سیستم تبه دوم
- ۷۲ ..... مدار RC
- ۷۳ ..... پانل آزمایش
- ۷۴ ..... آسیلوسکوپ (شکل نیاز به اصلاح دارد) اثر این شکلها را در ورد کشیدم باید با  
بزار دیگه بکشیم بزاریم که تغییر نکند
- ۷۶ ..... مدار سیستم مرتبه اول (شکل نیاز به اصلاح دارد)
- ۷۷ ..... مدار سیستم مرتبه اول با ظرفیت جانبی (شکل نیاز به اصلاح دارد)
- ۷۷ ..... مدار سیستم مرتبه دوم با اثر متقابل (شکل نیاز به اصلاح دارد)
- ۷۷ ..... مدار سیستم مرتبه دوم بدون اثر متقابل (شکل نیاز به اصلاح دارد)
- ۸۱ ..... مقایسه پاسخ سیستم و مدل مرتبه اول با تأخیر انتقالی (اصلاح شکل لازم است)
- ۸۲ ..... تعیین پارامترهای مدل
- ۸۴ ..... شکل دستگاه کنترل دما
- ۸۶ ..... دستگاه طراحی شده برای کنترل فشار
- ۹۶ ..... شمای دستگاه کنترل سطح مایع

..... صفحه	ن
..... ۴۴	۱-۴ جدول تنظیم پارامترهای کنترل کننده به روش زیگلر-نیکولز
..... ۴۶	۲-۴ جابجایی تنظیم پارامترهای کنترل کننده به شیوه منحنی واکنش
.....	۱-۷ روابط ارائه شده توسط زیگلر و نیکولز برای تعیین پارامترهای کنترل کننده‌ها
..... ۸۳	

www.ketab.ir

## پیشگفتار

کنترل فرایند دارای اهمیت و جایگاه ویژه ای در کارخانجات و فرایندهای صنعتی است و استفاده از آن برای نگه داشتن یک فرایند در شرایط مطلوب به منظور کسب بیشترین سود ضروری است. از این رو آشنایی با عملکرد کنترل کننده ها و سیستم های کنترل برای دانشجویان رشته های فنی مهندسی همچون مهندسی شیمی، مهندسی برق و مهندسی مکانیک لازم به نظر می رسد. به ویژه برای دانشجویان مهندسی شیمی که عملکرد فرایندهای شیمیایی را طراحی و اجرا می کنند، آموزش عملکرد سیستم های کنترل بسیار ضروری است.

هدف از تألیف این کتاب تلاش در وسیع دستگاه های آزمایشگاهی مشابه با مقیاس صنعتی برای کنترل پارامترهای فرایندی همچون دما، فشار، ارتفاع مایع و جریان سیال است تا دانشجویان درس آزمایشگاه کنترل فرایند راحت تر بتوانند وظایف محوله در آزمایشگاه را به انجام رسانده و بر طریقی بدون نیاز به حضور در واحدهای صنعتی تا حد زیادی با کار سیستم های کنترل آشنا شوند.

امید است این کتاب در راه هدفی که برگزیده است از اعضای جامعه علمی کشور باشد. در پایان، امیدواریم که اساتید و خوانندگان عزیز، ما را از مشکلات احتمالی مطلع سازند تا در چاپ های بعدی برطرف گردد.

مؤلفین

بهمن ماه ۱۳۹۴