

# کنترل فرآیند در زمان واقعی

مترجم  
دکتر ابوالفضل کریمی

www.ketab.ir

سرشناسه : اسورچک، ویلیام وای.  
 عنوان و نام پدیدآور : کنترل فرایند در زمان واقعی / نویسنده ها ویلیام سروک،  
 دونالد.پ. ماهونی، برنت. ار یانگ؛ مترجم دکتر ابوالفضل کریمی.  
 مشخصات نشر : تهران ، یادعارف، ۱۳۹۲.  
 مشخصات ظاهری : ۲۴۸ص.  
 شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۷۲۸۴-۰۱-۸  
 وضعیت فهرست نویسی: فیپا  
 درداشت : عنوان اصلی: A real-time approach to process control. 2<sup>nd</sup> ed. c.2006.  
 موضوع : کنترل فرایندهای شیمیایی  
 موضوع : کنترل فرایندها—داده پردازي  
 موضوع : کنترل فوری  
 شناسه افزوده : ماهونی، دونالد پی.  
 شناسه افزوده : یانگ برنت آر.  
 رده بندی کتب : ۳۹۳ ک ۹ ۵ الف/۸/۱۵۶ TS  
 رده بندی دیویی : ۶۷۰/۴۲۷-۳۳  
 شماره کتابشناسی ملی : ۳۳۶۰۲۰



## کنترل فرایند در زمان واقعی

مترجم: دکتر ابوالفضل کریمی

صفحه آرا: لیلا حائری مهریزی (۹۱۱۷۹۴۲۷۲۵)

نوبت چاپ: اول / ۱۳۹۳

قیمت: ۱۱۰۰۰۰ ریال

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۲۸۴-۰۱-۸

مرکز پخش: تهران خیابان ۱۲ فروردین - خیابان شهدای ژاندارمری - کوچه گرانفر - پلاک ۱

تلفن: ۰۹۱۲۷۲۰۲۶۹۸

## فهرست

|    |                                        |
|----|----------------------------------------|
| ۱۱ | فصل ۱: تاریخچه‌ای از کنترل و شبیه‌سازی |
| ۱۲ | مقدمه                                  |
| ۱۲ | ۱-۱ کنترل پس‌خور                       |
| ۱۷ | ۱-۲ شبیه‌سازی                          |
| ۲۷ | مراجع                                  |
| ۲۹ | فصل ۲: مفاهیم سخت‌افزاری کنترل فرایند  |
| ۳۰ | ۲-۱ اجزای سیستم کنترل                  |
| ۳۲ | ۲-۳ اجزای اولیه                        |
| ۳۳ | ۲-۲-۱ اندازه‌گیری فشار                 |
| ۳۴ | فشارسنج نسبی لوله بوردون               |
| ۳۵ | فشارسنج‌های دیفرانسیلی                 |
| ۳۶ | فشارسنج دیفرانسیلی نیوماتیک            |
| ۳۷ | فشارسنج‌های دیفرانسیلی مدرن            |
| ۳۹ | ۲-۲-۳ اندازه‌گیری سطح                  |
| ۴۰ | روش‌های اولتراسونیک                    |
| ۴۱ | ۲-۲-۳ اندازه‌گیری دما:                 |
| ۴۲ | ترموستات دو فلزی                       |
| ۴۳ | ترموکوپل‌ها                            |
| ۴۶ | آسیب‌پذیری ترموکوپل                    |
| ۴۶ | آشکارسازی ترمومترهای مقاومتی           |
| ۴۷ | انتخاب سنسورهای دما                    |
| ۴۸ | ۲-۲-۴ اندازه‌گیری جریان                |
| ۴۹ | دبی‌سنج‌های توزیع حرارتی               |

|     |                                                              |
|-----|--------------------------------------------------------------|
| ۴۹  | اریفیس پلیت‌ها                                               |
| ۵۱  | دبی‌سنج‌های مغناطیسی                                         |
| ۵۲  | ۳-۲ عناصر کنترل نهایی                                        |
| ۵۳  | ۱-۳-۲ شیرهای کنترل                                           |
| ۵۶  | تعیین اندازه شیر کنترل                                       |
| ۵۷  | مشخصه ذاتی شیر                                               |
| ۵۸  | مشخصه عملکردی                                                |
| ۶۱  | انتخاب شیر بر اساس دینامیک فرایند                            |
| ۶۴  | دامنه‌های شیر کنترل                                          |
| ۶۶  | اندازه وای شیر کنترل                                         |
| ۶۷  | اندازه شیر کنترل برای پالایش                                 |
| ۷۰  | تعیین اندازه شیر کنترل برای فرایندهای گاز، بخار و بخار اشباع |
| ۷۳  | پدیده فلاش و کاویداسیون                                      |
| ۷۶  | طراحی ایمن از خرابی                                          |
| ۷۸  | مراجع                                                        |
| ۸۱  | فصل ۳: مبانی فرآیندهای تک‌ورور تک خروجی                      |
| ۸۳  | ۱-۳ کنترل‌های مدار باز                                       |
| ۸۴  | ۲-۳ اغتشاشات                                                 |
| ۸۶  | ۳-۳ چشم اندازه کلی کنترل پس‌خور                              |
| ۸۹  | ۴-۳ کنترل پس‌خور - نگاه دقیق‌تر                              |
| ۸۹  | ۱-۴-۳ کنترلر پس‌خور مثبت و منفی                              |
| ۹۰  | ۲-۴-۳ المان‌های کنترل                                        |
| ۹۳  | ۳-۴-۳ حس‌گر / ترنس‌میتور                                     |
| ۹۳  | ۴-۴-۳ فرآیندها                                               |
| ۹۴  | ۵-۴-۳ المان نهایی کنترل                                      |
| ۹۷  | ۶-۴-۲ کنترلر                                                 |
| ۹۸  | ۵-۳ ویژگی‌های یک فرآیند: ظرفیت و زمان مرده                   |
| ۹۸  | ۱-۵-۳ ظرفیت                                                  |
| ۱۰۳ | چند دورنمای عملی مرتبط با ظرفیت                              |
| ۱۰۵ | ۲-۵-۳ زمان مرده                                              |

|     |                                        |
|-----|----------------------------------------|
| ۱۰۸ | بعضی از دورنماهای خاص زمان مرده        |
| ۱۱۰ | ۳-۶- پاسخ دینامیکی فرآیند              |
| ۱۱۲ | ۲-۷- مدل سازی و شبیه سازی فرآیند       |
| ۱۱۳ | ۲-۷-۱ سیستم های درجه اول               |
| ۱۱۴ | ۲-۷-۲ سیستم های با درجه ی ۲ و بالاتر   |
| ۱۲۲ | مفهوم و ساخت نمودار جعبه ایی           |
| ۱۲۳ | دسته و موقعیت یاب داخل شیر             |
| ۱۲۴ | المان حس گر و ترنس میتر                |
| ۱۲۵ | مدل فرآیند                             |
| ۱۲۹ | انتقال                                 |
| ۱۲۹ | زمان پاسخ                              |
| ۱۳۰ | ۳-۷-۴ کار و مدل سازی کلاسیک در کنترل   |
| ۱۳۳ | تابع تبدیل                             |
| ۱۳۵ | ۳-۷-۵ رویکرد مدلهای درونی کنترل فرایند |
| ۱۳۷ | فصل ۴: شیوه های اساسی کنترل            |
| ۱۳۸ | ۴-۱- کنترل روشن - خاموش                |
| ۱۴۲ | ۴-۲- کنترل تناسبی                      |
| ۱۵۱ | ۴-۳- کنترلرهای انتگرالی (فقط انتگرالی) |
| ۱۵۴ | ۴-۴- کنترل تناسبی همراه با انتگرالی    |
| ۱۵۷ | ۴-۵- عملکرد مشتقی                      |
| ۱۵۹ | ۴-۶- کنترلر تناسبی بعلاوه مشتقی        |
| ۱۶۳ | ۴-۷- کنترلر تناسبی - انتگرالی - مشتقی  |
| ۱۶۴ | شکل های دیجیتال کنترلرهای الکترونیکی   |
| ۱۶۵ | ۴-۸- انتخاب صحیح کنترلر                |
| ۱۶۷ | ۴-۹- سخت افزار کنترلر                  |
| ۱۷۰ | مراجع                                  |
| ۱۷۱ | فصل ۵: تنظیم کنترلر های پس خور         |
| ۱۷۲ | ۵-۱- کیفیت و بهینه سازی کنترلر         |
| ۱۷۳ | ۵-۱-۱- پاسخ کنترلر                     |
| ۱۷۴ | فرکانس زاویه ای                        |

|     |                                                                |
|-----|----------------------------------------------------------------|
| ۶۷۵ | نسبت فروکش                                                     |
| ۱۷۵ | زمان خیز                                                       |
| ۱۷۶ | زمان پاسخ:                                                     |
| ۱۷۶ | ۵-۱-۲- معیار خطای عملکرد                                       |
| ۱۷۷ | انتگرال خطای مطلق                                              |
| ۱۷۸ | انتگرال مجذور خطا                                              |
| ۱۷۸ | انتگرال زمانی قدر مطلق خطا                                     |
| ۱۷۹ | ۵-۲- روش های تنظیم کنترلر                                      |
| ۱۷۹ | روش سعی خطا                                                    |
| ۱۷۹ | قوانین برگشتی                                                  |
| ۱۸۱ | ۵-۲-۲- روش های سعی خطا و واکنش فرایند                          |
| ۱۸۲ | قاعده زیگر و نیلرلر در حالت حلقه باز                           |
| ۱۸۳ | قاعده کوهن - کن برای حالت حلقه باز                             |
| ۱۸۴ | قواعد تنظیم با استفاده از مدل کنترل داخلی                      |
| ۱۸۵ | ۵-۳-۳- روش حلقه بسته زیگلر - نیکولس                            |
| ۱۸۶ | تکنیک تنظیم خودکار متغیرها                                     |
| ۱۸۹ | مقایسه پارامترهای تنظیم شده با روش حلقه بسته ATW و زیگلرنیکولز |
| ۱۹۰ | مراجع                                                          |
| ۱۹۱ | فصل ۶: مباحث پیشرفته در کنترل اتومایک کلاسیک                   |
| ۱۹۲ | ۶-۱- کنترل آبخاری                                              |
| ۱۹۸ | ۶-۱-۱- شروع به کار سیستم آبخاری                                |
| ۱۹۸ | ۶-۲- کنترل پیشرو                                               |
| ۲۰۲ | ۶-۳- کنترل نسبتی                                               |
| ۲۰۴ | ۶-۴- کنترل برتر                                                |
| ۲۰۶ | ۶-۴-۶- حفاظت از تجهیزات                                        |
| ۲۰۷ | محافظت از نوسان شدید                                           |
| ۲۰۷ | دمای بالا و فشار زیاد پایین دستی                               |
| ۲۰۷ | ۶-۴-۲- انتخاب گری بر اساس اولویت                               |
| ۲۰۸ | ۶-۴-۳- کاربرد ابزار دقیق تکمیلی                                |
| ۲۱۰ | ۶-۴-۴- سنجش مصنوعی                                             |

|     |                                      |
|-----|--------------------------------------|
| ۲۱۲ | مراجع                                |
| ۲۱۳ | فصل ۷: حلقه‌های کنترل رایج           |
| ۲۱۴ | ۱-۷-حلقه‌های جریان                   |
| ۲۱۷ | ۲-۷-حلقه‌های فشار مایع               |
| ۲۱۹ | ۳-۷-کنترل سطح مایع                   |
| ۲۳۴ | ۴-۷-حلقه‌های فشار گاز                |
| ۲۳۵ | ۵-۷-حلقه‌های کنترل دما               |
| ۲۳۸ | ۶-۷-حلقه کنترل دما در راکتور گرماگیر |
| ۲۴۲ | ۱-۷-۲-حلقه کنترل دمای راکتور گرمازا  |
| ۲۴۴ | ۶-کنترل پمپ                          |
| ۲۴۴ | ۷-۷-کنترل کمپرسور                    |
| ۲۴۵ | ۱-۷-۷-کنترل کمپرسور رفت و برگشتی     |
| ۲۴۵ | کنترل اجزا کمپرسور                   |
| ۲۴۵ | کنترل ایمنی کمپرسور                  |
| ۲۴۵ | ۲-۷-۷-کنترل کمپرسور پائین دما        |
| ۲۴۶ | کنترل ظرفیت                          |
| ۲۴۹ | جلوگیری از موج                       |
| ۲۵۲ | ۸-۷-کنترل بویلر                      |
| ۲۵۲ | ۱-۸-۷-کنترل احتراق                   |
| ۲۵۴ | ۲-۸-۷-کنترل سطح مخزن آب              |
| ۲۵۴ | ۳-۸-۷-کنترل فشار مخزن آب             |
| ۲۵۵ | ۴-۸-۷-کنترل دمای بخار                |
| ۲۵۶ | مراجع                                |

## مقدمه مولفین:

در طول دهه‌هایی حوزه کنترل فرایند از نگاه توابع انتقال، آنالیز دامنه فرکانسی و تبدیلات لاپلاس بررسی می‌گردید که برای سیستم‌های خطی (نظیر سیستم‌های الکترومکانیکی در کنترل کلاسیک) کافی بود. اما به تازگی به دلیل پیچیدگی‌های فزاینده سیستم‌های صنعتی و فرآیندهای شیمیایی که اغلب دارای مدل‌های غیرخطی و زمان‌های مرده طولانی هستند، کنترل کلاسیک دارای محدودیت‌های زیادی می‌باشد. امروزه با توجه به هماهنگی اساسی سیستم‌های کنترل با سیستم‌های کامپیوتری و نرم‌افزار، امکان شبیه‌سازی و طراحی به آسانی فراهم می‌باشد. مهندسين و دانشجويان اکنون قادر به تجربه‌ی سیستم‌های حیاتی پیچیده و غیر ایده‌آل دنیای واقعی هستند علاوه بر این، کنترل سیستم‌های پیشرفته را بدون متوسل شدن به ریاضیات پیچیده طراحی کنند.

بنابراین مبنای این کتاب بکارگیری روشی عملی و آسان برای معرفی فرایندهای کنترلی بر حسب زمان در دستگاه‌ها است. ما برای این باور هستیم که این کتاب می‌تواند آموزش طراحی کنترل بدون اتکا به ریاضیات کلاسیک و تبدیلات لاپلاس را انجام دهد البته برای دانشجویانی که درصدد ارتقا دانش خود در زمینه کنترل هستند فراگیر ریاضیات کلاسیک توصیه می‌شود. برای مهندسين شیمی که با مسایل کنترل فرایند در صنایع روبرو می‌شوند اگر چه به صورت تخصصی وارد مباحث کنترل فرایند نمی‌شوند اما از نگاه عملیاتی راهکارهای عملی برای کنترل فرایند ارائه شده است.

فصل ۱ تاریخچه‌ای از شبیه‌سازی و کنترل فرایند را ارائه می‌دهد. فصل ۲ سری از تجهیزات مهم و رایج در رابطه با کنترل فرایند معرفی می‌شوند. در فصل ۳ خوانندگان با سیستم‌های تک ورودی- تک خروجی آشنا می‌شوند. مباحث کنترل پس‌خور، المان‌های مدار کنترل سیستم‌های دینامیک شامل ظرفیت و زمان مرده و مدلسازی سیستم در این فصل مطالعه می‌شوند. فصل ۴ حالات مختلف کنترلر PID را به وضوح بیان کرده، کاربرد و تفهیم مسایل را در چارچوب طراحی کنترل مدار- باز و تنظیمات آن تشریح می‌کند. در فصل ۵ بطور خاص تنظیمات کنترلر مورد توجه قرار گرفته است. با مجهز شدن به درک کنترل پس‌خور و ساختمان مدار کنترل و تنظیمات

آن در فصل ۶ یکسری موقعیت‌های کنترلی پیشرفته نظیر کنترل پیش‌خور، کنترل آبخاری، کنترل برتری جو صعرفی می‌شود. فصل ۷ مدارهای کنترلی رایج در صنعت همراه با تنظیمات آن‌ها به طور مختصر توضیح داده شده است. این کتاب علاوه بر اینکه برای آشنایی دانشجویان مهندسی شیمی و در زمینه کنترل فرآیند طراحی شده اما می‌تواند کتابی با ارزش برای مهندسين شیمی و متخصصین حوزه صنعت باشد. ما براین باوریم به عصری قدم گذاشته‌ایم که کنترل صنایع شیمیایی بر مبنای زمان واقعی شبیه‌سازی می‌شود امیدواریم شما با این نظر موافق باشید. آرزوی یادگیری و اطلاعات بیشتر در این رشته که بسیار هیجان انگیز و در حال تغییر است برای شما را خواستاریم. خوب سمنیم ما را با نظرات و پیشنهادات خود یاری نمائید.

William Y. Svrcek  
Donald P. Mahoney  
Brent R. Young

www.ketab.ir

## مقدمه مترجم

تا کنون کتاب‌های متعددی به صورت ترجمه و تالیف در حوزه کنترل فرایند در دسترس علاقه‌مندان قرار گرفته است. بخش‌های زیادی از آن‌ها از نگاه تئوری به مسایل کنترل فرایندی پرداخته و معادلات ریاضی و توابع تبدیل پیچیده، روح حاکم بر این مسایل است که گریزی از آن نیست. در این خصوص مهندسين از روش‌های تبدیل لاپلاس و نرم‌افزارهای مهندسی برای حل معادلات کنترلی بهره می‌گیرند. کتاب حاضر مبحث کنترل فرایندهای شیمیایی را به صورت خاص تفکیک و به صورت تخصصی بررسی نموده است به بیانی دیگر کتابی عملیاتی است که تکمیل کننده مفاهیم تئوری مسائل کنترل فرایند است. در این کتاب به طور خاص به موضوعات عملی تنظیم کنترلرهای PID برای سیستم‌های واقعی از قبیل: کمپرسورها، ریبویلرها، مبدل‌ها، ستون تقطیر و... با تعیین اعداد و ارقام و جدول تنظیمات عملی کنترلرها پرداخته که در کمتر کتاب کنترل فرایندی به این اشاره شده است. علاوه بر این وجه تمایز آن بررسی حالت‌های دینامیکی عملکرد کنترلرها در فرایندها می‌باشد. آرزوی من آنست که با ترجمه کتاب حاضر این خلا را در حوزه کنترل فرایند پوشش داده شود، قطعاً ترجمه کتاب حاضر خالی از اشکال نیست از اینرو از متخصصین، دانشجویان و صنعتکاران عزیز که در این حوزه فعال هستند تقاضا می‌کنم ما را با نظرات و پیشنهادات تخصصی خود یاری نمایند تا بر دیده منتشر شود. در چاپ‌های بعدی کتاب از آن بهره‌مند شویم. بر خود لازم می‌دانم از کسانی که ما را در این مسیر یاری نمودند تقدیر و تشکر نمایم. شایسته است از سرکار خانم لیلا حائری که در آماده‌سازی این اثر کوششی دریغ نداشتند نیز تشکر و قدردانی شود.