

تجدیدنظر و به‌روز کردن سرفصل مطالب درس کنترل فرایندها در برنامه مهندسی شیمی جهت پاسخگویی به نیازهای صنایع شیمیایی

رامین بزرگمهری، محمد شاه‌رخی

دانشکده مهندسی شیمی و نفت دانشگاه صنعتی شریف

چکیده: با توجه به اینکه رشته‌های مختلف مهندسی به‌منظور ایجاد فن‌آوری جدید مبتنی بر دستاوردهای علمی جدید است، در تمامی این رشته‌ها زمینه‌های مختلف علوم و تکنولوژی که به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم در زمینه آن رشته مهندسی کاربرد دارد مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. پیشرفت در زمینه‌های مختلف علوم و مهندسی به‌صورت عام و فناوری اطلاعات به‌صورت خاص ایجاب می‌کند که محتوای دروس مختلف موجود در هر رشته مهندسی به‌صورت مداوم و مستمر مورد تجدیدنظر قرار گیرد. رشته مهندسی شیمی نیز نظیر سایر رشته‌های مهندسی تابع این قاعده است و به همین منظور یک کارگاه آموزشی جهت تجدیدنظر و بررسی محتوای درس کنترل فرایندها در مهندسی شیمی تشکیل گردید که نتایج آن در این مقاله مورد بحث قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: آموزش در مهندسی شیمی، کنترل فرایندها.

یکی از ویژگی‌های اساسی اکثر رشته‌های مهندسی، به خصوص رشته مهندسی شیمی ماهیت چندوجهی بودن آن است. در واقع، مطالب ارائه شده در مهندسی شیمی به گونه‌ای است که مخاطبان خود را به صورتی پرورش می‌دهد که بتواند نیازهای مختلف خود را در صنایع شیمیایی برآورده کنند.

از جمله این نیازها توانایی ارائه محصولات با کیفیت مطلوب و حداقل قیمت به بازار مصرف است. یکی از مقولاتی که برای پاسخگویی به این نیاز مطرح می‌شود، مقوله کنترل خودکار فرایندهای مختلف است. بر همین اساس، به منظور ایجاد زبانی مشترک میان متخصصان علم کنترل از یک سو و مهندسان شیمی از سوی دیگر، یک درس ۳ واحدی با عنوان کنترل فرایند در برنامه درسی مهندسان شیمی گنجانده شده است. سرفصل مطالب مورد بررسی در این درس هنگام قرارگرفتن آن در برنامه درسی مهندسان شیمی به گونه‌ای بود که مطالب موجود در آن با مباحث و مقولات به روز صنعت و رشته کنترل منطبق بوده است.

متأسفانه، با پیشرفت علم الکترونیک، به خصوص در حیطه دیجیتال و کامپیوتر به مرور مهندسان کنترل استفاده از روش‌های کامپیوتری و محاسباتی دقیق را جایگزین روش‌های ترسیمی و تقریبی کرده‌اند. این تغییر باعث ایجاد شکاف بین مقولات مورد بحث و بررسی متخصصان کنترل از یک سو و درس کنترل فرایند برنامه مهندسی شیمی از سوی دیگر شده است و متأسفانه، با گذشت زمان و رشد بیشتر علوم الکترونیک و کامپیوتر این شکاف عمیق و عمیق‌تر می‌شود.

به این ترتیب، نظر به اینکه علی‌رغم تمام پیشرفت‌هایی که در علوم الکترونیک و کامپیوتر صورت گرفته است و علی‌رغم رواج بسیار زیاد کامپیوترهای با سرعت و توان محاسباتی بالا بسیاری از تکنیک‌ها و روش‌هایی که در اکثر دروس برنامه مهندسی شیمی در ایران ارائه می‌شود، تقریبی و گرافیکی است. به عنوان مؤید این مطلب می‌توان به میزان تأکید کتب جدید در زمینه کنترل به روش‌های گرافیکی و تقریبی اشاره کرد که در تمام مراجع مربوط به کنترل فرایند میزان تأکید بر روش‌های گرافیکی تقریبی نظیر مکان هندسی ریشه‌ها و نمودار Bode و نحوه تنظیم کنترل‌کننده با استفاده از این روش‌ها بسیار ناچیز است [۲، ۳، ۴، ۵ و ۶].

درس کنترل فرایند نیز از این روال مستثنا نیست و دچار معضل مربوط به عدم استفاده از روش‌های نوین است. به منظور جلوگیری از افزایش شکاف بین مباحث مورد بررسی توسط متخصصان کنترل و مهندسان شیمی سرفصل مطالب درس کنترل فرایند با هدف افزایش مقولات جدید و مورد نیاز صنعت از جمله جنبه کامپیوتری آن به قیمت حذف مطالب تکراری و کمرنگ کردن مباحث تقریبی و گرافیکی مورد تجدید نظر قرار گرفت. پس از بحث و بررسی در کمیته کنترل کارگاه تخصصی آموزشی در مهندسی شیمی، سرفصل درس کنترل فرایند مورد تجدید نظر قرار گرفت. سرفصل مطالب پیشنهادی برای درس کنترل فرایندها که منطبق بر نیازهای کنونی مهندسان شیمی است و در جلسه عمومی کارگاه تخصصی آموزش در مهندسی شیمی مورد تصویب قرار گرفت، به همراه زمان‌بندی آن عبارت است از:

۲. سرفصل‌های پیشنهادی درس کنترل فرایند

۱. مقدمه

۱.۱. ضرورت کنترل

۲.۱. تعاریف (فرایند، ورودی - خروجی، Load، انواع استراتژی‌های کنترل (پس‌خور -

پیش‌خور)

۳.۱. انواع کنترل‌کننده (PID, ON/OFF)

۴.۱. انواع کنترل (خنثی کردن Load، دنبال کردن مقدار مقرر)

۲. تبدیل لاپلاس و نرم‌افزار Matlab

۱.۲. انواع مختلف ورودی‌ها (پله، پالس و ضربه)

۲.۲. تبدیل لاپلاس، قضیه مقدار نهایی، لاپلاس تابع انتقال یافته

۳.۲. مروری بر نرم‌افزار Matlab و کاربرد آن در کنترل

۳. مدلسازی فرایندها

۱.۳. مدل‌های مکانیزمی

- ۱.۱.۳. مدل کردن فرایندهای درجه اول
- ۲.۱.۳. پاسخ سیستم‌های اول به ورودی‌های مختلف
- ۳.۱.۳. سیستم‌های درجه اول به صورت سری (با و بدون اثر متقابل)
- ۴.۱.۳. سیستم‌های درجه دوم
- ۵.۱.۳. پاسخ سیستم درجه دوم به ورودی‌های مختلف (پله، ضربه و سینوسی) و تعاریف مربوط (بر اساس تحریک پله)
- ۲.۳. مدل‌های تجربی
- ۱.۲.۳. تأخیر انتقالی
- ۲.۲.۳. تقریب سیستم با مدل درجه یک همراه با تأخیر انتقالی
- ۳.۲.۳. خطی ساز فرایندهای غیرخطی

۴. سیستم کنترل مدار بسته

- ۱.۴. اجزای یک حلقه پس‌خور (کنترل‌کننده، المان نهایی کنترل و انواع شیرهای کنترل و وسایل اندازه‌گیری)
- ۲.۴. قوانین نمودار جعبه‌ای
- ۳.۴. رابطه مدار بسته

۵. پایداری مدار بسته

- ۱.۵. تعریف پایداری
- ۲.۵. معیار پایداری
- ۳.۵. آزمون Routh

۶. مکان هندسی ریشه‌های معادله مشخص

- ۱.۶. مفهوم مکان و تعریف صفر و قطب
- ۲.۶. رسم مکان به کمک نرم‌افزار Matlab
- ۳.۶. تعریف سیستم‌های درجه بالا با سیستم درجه دوم

۷. پاسخ فرضی

- ۱.۷. اهداف پاسخ فرکانسی (شناسایی سیستم‌ها، بررسی پایداری، تنظیم کنترل‌کننده)
- ۲.۷. به دست آوردن پاسخ فرکانسی سیستم‌های درجه اول و دوم
- ۳.۷. نمودار Bode و کاربرد آن در شناسایی سیستم
- ۴.۷. ضابطه پایداری Bode
- ۵.۷. نمودار Bode کنترل‌کننده‌های مختلف

۸. تنظیم کنترل‌کننده PID

- ۱.۸. استفاده از رابطه حاشیه فاز و حاشیه بهره
- ۲.۸. روش نوسانات دایم زیگلر - نیکولز
- ۳.۸. روش منحنی واکنش زیگلر - نیکولز
- ۴.۸. استفاده از توابع هدف

۹. نمودار نایکونیست و ضابطه پایداری آن

- ۱.۹. رسم نمودار قطبی برای سیستم‌های مختلف
- ۲.۹. ضابطه پایداری نایکونیست

۱۰. کنترل نسبی^۱ و زنجیره‌ای^۲

- ۱.۱۰. کنترل نسبی و کاربرد آن
- ۲.۱۰. کنترل زنجیره‌ای و کاربرد آن

۱۱. اصول کلی کنترل کامپیوتری

جدول ۱ بیانگر زمانبندی مورد نیاز به منظور ارائه مطالب یاد شده است.

۱. Ratio Control

۲. Cascade Control

جدول ۱ زمانبندی پیشنهادی برای سرفصل مطالب جدید درس کنترل فرایندها

تعداد	موضوع جلسات	ردیف	تعداد جلسات	موضوع	ردیف
۳	مکان هندسی ریشه‌ها	۷	۲	مقدمه	۱
۴	پاسخ فرکانسی	۸	۳	تبدیل لاپلاس و نرم‌افزار Matlab	۲
۲	تنظیم کنترل‌کننده	۹	۵	مدلسازی فرایندها	۳
۳	نمودار NYQUIST	۱۰	۲	مدلهای تجربی و خطی سازی	۴
۲	کنترل نسبی و زنجیره‌ای	۱۱	۳	سیستم کنترل مدار بسته	۵
۱	اصول کلی کامپیوتر کنترل	۱۲	۲	پایداری مدار بسته	۶
۳۲			جمع کل جلسات		

از نکات اصلی مورد توجه در سیلابس مذکور استفاده از نرم‌افزار Matlab در درس کنترل فرایند است که البته، با توجه به حجم مطالب مورد لزوم برای ارائه در این درس بیان کامل مقدمات نرم‌افزار مزبور در زمینه کنترل و آشناسازی دانشجویان با جنبه‌های مختلف مورد نیاز این نرم‌افزار در قالب جلسات کلاس امری غیرممکن خواهد بود. البته، در صورت قرارگرفتن یک درس ۲ واحدی به نام "کارگاه کاربرد کامپیوتر در مهندسی شیمی" قسمتی از مفاهیمی که برای آشنایی با نرم‌افزار Matlab مورد نیاز است به این درس محول می‌شود. در این صورت، می‌توان دانشجویان را با کاربردهای خاص Matlab در کنترل آشنا کرد و با استفاده از این نرم‌افزار کلیه نظریه‌ها و مفاهیم انتزاعی و دشوار کنترل را به صورت ملموس‌تر به همراه جنبه‌های کاربردی آن به دانشجویان انتقال داد. شایان ذکر است که حتی اگر دانشجویان درس ۲ واحدی کارگاه کاربرد کامپیوتر در مهندسی شیمی را بگذرانند، به هر حال انتقال مطالب تخصصی و کاربردی نرم‌افزار Matlab در کنترل باعث افزایش تعداد جلسات مورد نیاز در درس می‌شود. به همین دلیل، به منظور جلوگیری از افزایش تعداد جلسات و در نتیجه، تعداد واحد درسی یا کاهش مطالب مطرح شده در درس، توصیه شد که ارائه جزئیات نرم‌افزار و امکانات آن در قالب تکالیف دانشجویی و نیز کلاس‌های حل تمرین صورت گیرد. تبعاً وجود این مطلب ضرورت کلاس حل تمرین برای این درس را دوچندان خواهد کرد.

مجدداً در صورت مراجعه به مراجع مختلف جدید در زمینه کنترل مشاهده می شود که در اکثر این مراجع حداقل یک فصل در زمینه کاربرد این نرم افزار در کنترل مطرح شده است [۵]، ۶ و ۷].

نکته قابل توجه آن است که در مواردی که به کاربرد نرم افزار Matlab در کنترل اشاره نشده است، این مقوله با روش های گرافیکی سنتی جایگزین نشده است، بلکه به جای Matlab از یک یا چند نرم افزار دیگر استفاده شده و کاربرد این نرم افزارها در کنترل مورد بررسی قرار گرفته است [۳].

البته، باید توجه داشت که یکی دیگر از گزینه های موجود برای ارائه مطالب مذکور و پوشش دادن مطالب صنعتی عمیق تر عبارت از افزایش تعداد واحد این درس به ۴ است، اما این گزینه در تعارض با کاهش تعداد واحدهای لازم برای دوره کارشناسی به منظور کاهش زمان لازم برای این دوره است.

عمده ترین علت تعارض عبارت از آن است که این منوال می تواند در مورد تمام دروس تخصصی دوره کارشناسی صادق باشد و از آنجا که اولویت خاصی بین هیچ یک از دروس تخصصی وجود ندارد و این دروس در عرض یکدیگر قرار دارند و در ترکیب با یکدیگر، دانش مهندسی لازم را در دانش آموختگان این رشته ایجاد می کنند، افزایش تعداد واحدهای یک درس می تواند منجر به افزایش واحد سایر دروس تخصصی شود. به همین دلیل، این امر منجر به افزایش بی رویه واحدهای لازم در دوره کارشناسی و در نتیجه، افزایش طول دوره می شود.

یک راهکار جامع الاطراف به منظور از بین بردن این خلأ و ایجاد فضای لازم برای ارائه مطالب تکمیلی به دانشجویان علاقه مند به زمینه های کاربردی کنترل، ارائه یک درس اختیاری ۲ واحدی به نام "کنترل تکمیلی" است. درس کنترل فرایندها پیش نیاز درس کنترل تکمیلی خواهد بود.

۳. نحوه تدریس

یکی از عمده ترین ویژگی های روش تدریس مناسب در این درس عبارت از حالتی مرکب از دو نحوه تدریس است که به ترتیب به دروس کاربردی و صنعتی و دروس کاملاً تئوری یا

ریاضی مربوط است. در واقع، برای ایجاد زمینه‌ها و ابزار تئوریک لازم به‌منظور تجزیه و تحلیل‌های مربوط به مدل‌های ریاضی فرایندهای مورد بررسی نحوه تدریس متناسب با دروس تئوریک و ریاضی مورد نیاز است، در صورتی که برای تقویت دیدگاه‌های صنعتی و مهندسی مربوط به ویژگی‌های دینامیک فرایندهای مورد بررسی نیاز به استفاده از روش‌های مناسب در دروس کاربردی و صنعتی است.

بنابراین، از نظر نحوه تدریس استفاده از یک تعادل بسیار ظریف بین نحوه تدریس دروس کاربردی و دروس تئوریک ضروری است. لذا برگزاری یک یا دو بازدید از اتاق کنترل پالایشگاه‌ها یا مراکز پتروشیمیایی می‌تواند در تقویت دیدگاه صنعتی درس و اهداف بلندمدت صنعتی موجود در کنترل فرایند بسیار مفید باشد. از سوی دیگر، استفاده از وسایل کمک آموزشی نظیر کامپیوتر و آزمایشگاه‌های مجازی برای تقویت نیمه تئوریک درس و ارائه بستر مناسب به‌منظور شکوفایی ذهن دانشجویان و اخذ ابزار لازم برای ایجاد نوآوری و انعطاف و تأثیر بیشتر در کنترل فرایند بسیار مفید و مهم خواهد بود.

تجربه نشان داده است که استفاده از ابزارهای کامپیوتری و آزمایشگاه‌های مجازی در آموزش اکثر دروس مهندسی موفقیت‌آمیز بوده است و دانشجویان را با مسائل واقع‌گرایانه آشنا تر و مانوس تر می‌سازد [۸، ۹ و ۱۰].

نگرش سنتی تدریس از سالیان پیش، زمانی که هیچ یک از ابزارها و تکنولوژی‌های جدید در دست نبوده است، بنیانگذاری شده است. تبعاً بر اساس تکنولوژی اطلاعات نحوه سنتی تدریس نیز مانند بسیاری از زمینه‌های دیگر با ورود کامپیوتر در آموزش به‌صورت بنیادین متحول می‌شود. بسیاری از روش‌هایی که بر اساس تکنولوژی موجود می‌توان برای فهم راحت تر درس به کار برد، از قبل موجود نبوده است و به کارگیری این موارد منجر به افزایش کیفیت و تسریع فرایند آموزش می‌شود. به‌عنوان بارزترین مورد از این تأثیرات می‌توان به نتایج به‌دست آمده از تحقیقات مختلف که حاکی از تفاوت سبک‌های آموزشی موجود در بین مردم است، نام برد. بر اساس این نتایج، اکثر دانش‌آموزان مطالب بصری را به مراتب راحت تر و سریع تر از گونه‌های دیگر مطالب آموزشی جذب می‌کنند. اما به هر حال، عده‌ای نیز هستند که برای آنها جذب مطالب آموزشی از طریق گوش دادن یا به کارگیری عملی ساده تر و سریع تر است.

آمار مختلف نشان‌دهنده آن است که یک دانش‌آموز متوسط حدود ۲۰٪ از مطالبی را که شنیده است و حدود ۴۰٪ از مواردی که دیده و شنیده است و بالاخره ۷۵٪ از مواردی که با شنیدن، دیدن و انجام‌دادن جذب کرده است، به خاطر می‌سپارد [۱۲].

در کلاس‌های موجود و بر اساس نگرش سنتی آموزش عمدتاً از روش‌های سمعی و بصری در تعلیم افراد استفاده می‌شود که در واقع، این نوع آموزش را آموزش انفعالی گویند. در استفاده از آموزش به کمک کامپیوتر هر سه حالت یادگیری (از طریق دیدن، شنیدن و تجربه کردن) مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۲]. این امر باعث افزایش کیفیت و کاهش زمان آموزش می‌شود. Shahri و همکاران معتقدند: "یکی از عمده‌ترین توانایی‌های کامپیوتر قدرت آن در ارائه یک مجموعه واحد از اطلاعات در قالب‌ها و صورت‌های متفاوت است" [۱۳]. آنها عمده‌ترین مزیت آموزش به کمک کامپیوتر را قابلیت انعطاف بالای آن و توانایی آن در ایجاد بستری مناسب برای ارائه مطالب به صورت سمعی و بصری و نیز تجربه مطالب در قالب استفاده از شبیه‌سازی و آزمایشگاه‌های مجازی و نیز هزینه پایین آن می‌دانند.

به این ترتیب، جامعه مهندسی به دنبال استفاده از روش‌های جدید آموزش و به خصوص کاربرد کامپیوتر در آن به منظور تسهیل و تسریع آموزش است. تبعاً این نکته در تدریس کنترل فرایند نیز حایز اهمیت است.

۴. نحوه ارزیابی

یکی از عمده‌ترین مشکلاتی که دانشجویان در زمینه مورد ارزیابی قرارگرفتن با آن مواجه هستند، انتقال مناسب اطلاعات اخذ شده طی جلسات مختلف درس در یک مدت زمان محدود است، به گونه‌ای که نشان‌دهنده تسلط آنها بر مطالب ارائه شده در درس است. به منظور هرچه صحیح‌تر بودن نتایج مربوط به ارزیابی درس استفاده از تکالیف منزل، کوئیزها و امتحان میان‌ترم و پایان‌ترم می‌توانند بسیار مفید و ثمربخش باشند.

۵. منابع درس

مراجع مورد اشاره در این مقاله حاوی مجموعه‌ای مناسب به عنوان منابع مختلفی است که می‌توانند جنبه‌های مختلف ارائه شده در درس را با شرح و تفصیل بیشتری بیان کنند و مورد

۶. پیش‌نیاز درس

نظر به اینکه دانشجوی در این درس به تمام مفاهیم مدلسازی ریاضی و تجزیه و تحلیل آن نیاز دارد، عمده‌ترین پیش‌نیاز یا حداقل هم‌نیاز این درس می‌تواند درس کاربرد ریاضیات در مهندسی شیمی و تمام پیش‌نیازهای آن باشد.

مراجع

1. Coughanowr, Koppel, Process Systems Analysis and Control, McgrawHill.
2. D.E., Seborg, T. Edgar, Mellichamp, Process Dynamics and Contro, JohnWiley, 1989.
3. B. Ogunnaike, H. Ray, Process Dynamics Modelling and Control, Oxford, 1994.
4. G. Stephanopoulos, Chemical Process Control: An Introduction to Theory and Practice, Prentice-Hall, 1984.
5. W. Bequette, Process Dynamics, Prentice-Hall, 1998.
6. T. Marlin, Process Control, McGrawHill, 1995.
7. W. Luyben, M. Luyben, Essential of Process Control, McGrawHill, 1998.
8. Puko, R., Putrenko Y., Satikov, I., Perrenko, A., Developing Intranet Conceptions in Instructions of Higher Education, International Conference on Engineering Education, Czech Republic, Paper No. 315, 1999.
9. Nizar, A.H., Development of a Computer - Based Instruction in Digital Circuits, International Conference on Engineering Education, Czech Republic, Paper No. 233, 1999.
10. Miller, A.R., Applying Advanced Computer Tools to Engineering Education, International Conference on Engineering Education, Czech

Republic, Paper No. 407, 1999.

11. Hsieh, S.J., Yu, F.M., Utilization of Global Information Networks on Internship and Engineering Education, International Conference on Engineering Education, Czech Republic, Paper No. 282, 1999.
12. Hurson, A.R., Kavi, K.M., Interactive Teaching Practices in Small Class Sizes While Cutting into the High Cost of Education, International Conference on Engineering Education, Czech Republic, Paper No. 420, 1999.
13. Shahri, A.M., Naghdi, F., Reslan, M., Interactive Multimedia Tools for Teaching Automatic Control System, Page 86, Proceeding of the World Internet & Electronic Cities Conference, Kish Island, Iran, 2001.

(تاریخ دریافت مقاله: ۸۱/۱۰/۷)