

## ارزیابی و مقایسه کیفیت آموزش «مهندسی کنترل فرایند» در ایران و کشورهای توسعه یافته: ارائه نقشه راه عملی جهت کاهش فاصله موجود

فرزاد هورفر<sup>۱</sup>، لادن خوشنویسان<sup>۲</sup>، بهزاد مشیری<sup>۳</sup>، مجتبی زارع مهرجردی<sup>۴</sup>، کریم سلحشور<sup>۵</sup> و عسگر هورفر<sup>۶</sup>

**چکیده:** با توجه به اهمیت کاربردی گرایش «کنترل فرایند» در صنایع مختلف، در این مقاله سعی شده است که ضمن شناسایی وضعیت فعلی و ارزیابی کیفیت نحوه آموزش این گرایش در داخل کشور و نیز مقایسه آن با سازوکارهای آموزشی متداول در کشورهای توسعه یافته، نسبت به ارائه راهکارهای مؤثر و عملی جهت ارتقای سطح آموزش این تخصص مهم و کلیدی اقدام شود. در همین راستا، با معرفی و تدوین یک نقشه راه کاربردی تلاش شده است تا کمبودها و کاستی‌های موجود در سیستم آموزش داخلی مرتبط با حوزه «کنترل فرایند» در کوتاه‌ترین زمان ممکن مرتفع شده و بتوان با برداشتن چند گام اساسی، استانداردهای آموزش داخلی را از لحاظ فاکتورهای مؤثری، مانند سطح دسترسی به امکانات آزمایشگاهی، میزان برخورداری از محیط‌های شبیه‌ساز معتبر و پرکاربرد در صنایع فرایندی، نحوه آماده‌سازی دانش‌آموختگان این گرایش برای ورود به صنایع فرایندی حساس و نیز سطح آمادگی صنایع مختلف جهت پذیرش و استفاده از تخصص دانش‌آموختگان این حوزه ارتقا داد. بدیهی است تحقق این امر باعث خواهد شد تا صنایع حساس و کلیدی کشور نظیر صنایع نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاه‌های تولید توان ضمن بهره‌مندی از کارشناسانی آموزش دیده و با دانش در حوزه کنترل فرایندهای پرکاربرد صنعتی، بتوانند دستیابی به اهدافی مانند افزایش میزان بهره‌وری، بهبود کیفیت محصولات تولیدی، کاهش تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی و نیز کاهش مصرف انرژی، جامعه عمل ببوشانند.

**واژه‌های کلیدی:** تجهیزات آزمایشگاهی، سرفصل‌های آموزشی، صنایع نفت و گاز، کنترل فرایندهای صنعتی، مهندسی شیمی و مهندسی کنترل

۱. دانش‌آموخته دکتری مهندسی برق - کنترل، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران، تهران، ایران، (نویسنده مسئول).  
f.hourfar@ut.ac.ir
۲. دانش‌آموخته دکتری مهندسی برق - کنترل، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران، تهران، ایران.  
khoshnevisan@ut.ac.ir
۳. استاد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران، تهران، ایران. moshiri@ut.ac.ir
۴. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی برق - کنترل، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران، تهران، ایران.  
mzaarem@gmail.com
۵. استاد، دانشکده نفت اهواز، دانشگاه صنعت نفت، اهواز، ایران. salahshoor@put.ac.ir
۶. استاد، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. ahorfar@ut.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۳۰)

(پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۴/۱۱)

DOI: 10.22047/ijee.2018.113766.1504

## ۱. مقدمه

به طور کلی مهندسی «کنترل فرایند» یکی از تخصص‌های میان‌رشته‌ای است که آموزش و یادگیری آن نیازمند دانش هم‌زمان در دو حوزه مهندسی کنترل و مهندسی شیمی، زیرشاخه طراحی فرایند، است. با توجه به وابستگی شدید اقتصاد ایران به نفت و گاز و در نتیجه نیاز به ارتقای هرچه بهتر سطح عملگری در صنایع فرایندی، توجه به مهندسی فرایندها و نیز زیرشاخه‌های مرتبط با آن حوزه مانند گرایش «کنترل فرایند» از اهمیت بالایی برخوردار است و این امر می‌طلبد که ارائه آموزش‌های کاربردی در زمینه مهندسی «کنترل فرایند» از طرف متخصصان امر و نیز مراکز آموزشی و تحقیقاتی کاملاً جدی گرفته شود. بدیهی است که با اتخاذ این سیاست، مهندسان پرورش‌یافته در آن حوزه و دانش‌آموختگان این گرایش خواهند توانست نسبت به رفع مشکلات صنایع کشور اقدام بهتری نمایند (هورفر و همکاران، ۱۳۹۴).

اصولاً کنترل مناسب فرایندهای صنعتی نتایج متعدد و پرباری برای صنایع به همراه داشته که برخی از آن دستاوردها عبارت‌اند از دستیابی به پیوستگی تولید، افزایش کیفیت محصول، کاهش مصرف انرژی، کاهش آلاینده‌های صنعتی، افزایش سطح ایمنی (چه از جنبه جلوگیری از خسارت‌های مالی و چه آسیب‌های جانی). روشن است که حصول این نتایج در یک فرایند صنعتی موجب افزایش سوددهی و به دنبال آن افزایش درآمدهای ریالی و حتی ارزی کشور خواهد شد.

لازم به توضیح است که در طی دو دهه گذشته توجه به جنبه‌های مختلف آموزشی و پژوهشی مرتبط با رشته مهندسی شیمی (با در نظر گرفتن این حقیقت که گرایش «کنترل فرایند» اصولاً زیرمجموعه‌ای از آن رشته محسوب می‌شود) به صورت نظام‌مند مورد توجه جدی صاحب‌نظران این حوزه در داخل کشور قرار گرفته و سعی شده است که به صورت مستمر با انجام الگوبرداری‌های مناسب از کشورهای پیش‌تاز، قدم‌های مؤثری در راستای ارتقای وضعیت آموزشی رشته «مهندسی شیمی» برداشته شود. به عنوان مثال، توجه به تاریخچه مهندسی شیمی (گودرزنیا، ۱۳۷۸)، شناسایی چالش‌های مختلف آموزشی مرتبط با مهندسی شیمی (واشقانی فراهانی، ۱۳۷۹؛ طاهری و رحیمی، ۱۳۸۳؛ رحیمی و آقامیری، ۱۳۸۴؛ معصومی گودرزی و همکاران، ۱۳۹۰) و نیز اهمیت توجه به مباحث میان‌رشته‌ای در امر آموزش و پژوهش حوزه مهندسی شیمی (پنجه‌شاهی، ۱۳۷۹؛ ستوده قره‌باغ، ۱۳۸۱؛ گنجی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶ الف؛ ۱۳۹۶ ب) از طرف اعضای هیئت‌علمی و صاحب‌نظران این رشته به طور پیوسته مدنظر واقع شده است. از طرف دیگر، با لحاظ کردن ماهیت میان‌رشته‌ای «مهندسی کنترل» توجه به جنبه‌های مختلف آموزشی، کاربردی و نیز مباحث نظری این حوزه مدتهاست که توسط استادان و محققان داخلی این حوزه مورد استقبال واقع شده است

(شعبانی‌نیا و شفیعی، ۱۳۸۱؛ صفوی و همکاران، ۱۳۸۶؛ یزدان‌پناه و همکاران، ۱۳۹۳؛ خاکی صدیق، ۱۳۹۳؛ نیک‌افروز و آزادی یزدی، ۱۳۹۴). با این وجود، علی‌رغم اینکه بعضاً و به صورت موردی، مطالعاتی در زمینه جنبه‌های مختلف آموزش و پژوهش مبحث مهم و کلیدی «کنترل فرایند» به‌طور خاص در سال‌های گذشته صورت گرفته است (بزرگمهری و شاهرخی، ۱۳۸۳)، می‌توان اذعان کرد که نظر به اهمیت این حوزه همچنان توجه بیشتر به آن گرایش در سطح مراکز آموزش عالی کشور امری اجتناب‌ناپذیر به شمار می‌آید.

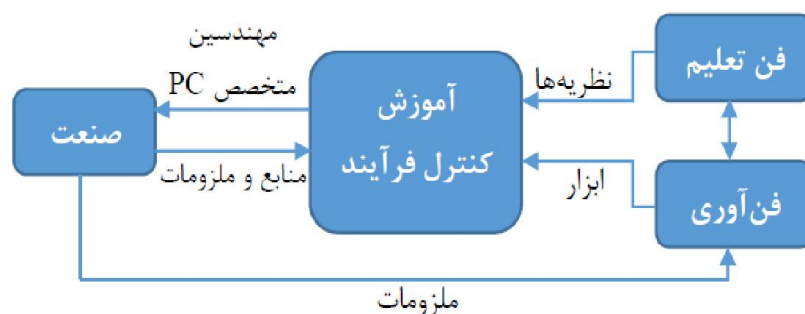
در همین راستا در این مقاله ابتدا به تدوین جایگاه آموزش «کنترل فرایند» در کشورهای پیشرفته و دانشگاه‌های معتبر دنیا پرداخته شده و سعی خواهد شد تا توجهی، که در سطح جهانی به این گرایش میان‌رشته‌ای صورت می‌گیرد، به‌خوبی مورد ارزیابی قرار گرفته و چالش‌ها و افق‌های پیش‌روی متخصصان و صاحب‌نظران در این حوزه تشریح شود. در ادامه، جایگاه این شاخه از مهندسی کنترل در داخل کشور مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته و تلاش شده است که مطابق اطلاعات به‌دست‌آمده از منابع در دسترس، کیفیت فعلی سطح آموزش و پژوهش داخلی مورد ارزیابی قرار گیرد. در بخش بعدی مقاله ضمن تشریح فاصله موجود بین سطح آموزش ارائه‌شده مختص به گرایش «کنترل فرایند» در داخل کشور با استانداردهای جهانی، نسبت به ترسیم نقشه راه و نیز ارائه پیشنهادها عملی به‌منظور کاهش این اختلاف در کمترین زمان ممکن اقدام شده است تا بتوان به کمک راهکار ارائه‌شده، کیفیت آموزشی در این حوزه را، با هدف دستیابی هرچه‌بہتر به آموزش‌های کاربردی و بهره‌مندی از مزایای حاصل از تربیت نیروهای متخصص، افزایش داد. بدیهی است با ورود کارشناسان مجهز به دانش روز دنیا و کارآمد به صنعت کشور می‌توان امیدوار بود که چالش‌های موجود در صنعت کشور و به‌ویژه صنایع نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی، که در تعامل گسترده و پیوسته با مبحث کنترل فرایندها هستند، به بهترین نحو برطرف شده و گامی بزرگ در راستای افزایش کیفیت محصولات تولیدی، ارتقای رضایت‌مندی مشتریان و در نتیجه افزایش درآمدهای خالص و ناخالص کشور برداشته شود.

## ۲. جایگاه آموزش «کنترل فرایند» در کشورهای پیشرفته

به‌طور کلی، در سطح بین‌المللی، آموزش مبحث «کنترل فرایند» حاوی سه رکن اصلی شامل صنعت موردنظر، فناوری مورد استفاده و نیز فن تعلیم<sup>۱</sup> است که همگی این موارد با یکدیگر ارتباط نزدیک و تنگاتنگ دارند (شکل ۱). صنایع مختلف اغلب منابع لازم از قبیل امکانات سخت‌افزاری، نرم‌افزارها و

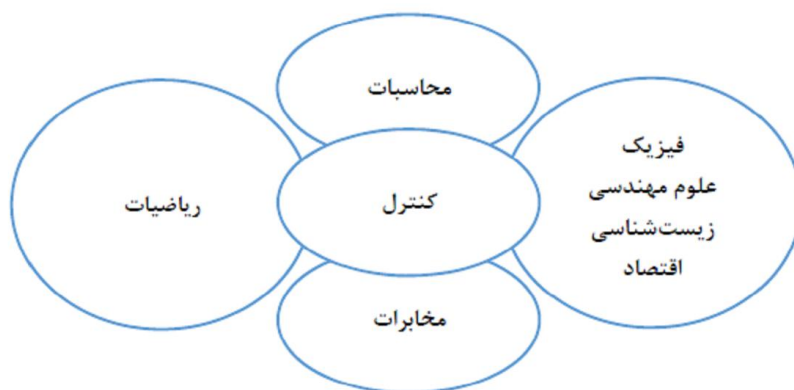
۳۶ ارزیابی و مقایسه مابین کیفیت سطح آموزش «مهندسی کنترل فرایند» در ایران و کشورهای توسعه یافته ...

برنامه‌های گوناگون، مفید و کاربردی برای آموزش مبحث «کنترل فرایند» را تأمین می‌کند. از طرف دیگر، با آموزش صحیح مباحث مرتبط با «کنترل فرایند»، مهارت‌های موردنیاز در صنایع مختلف برای کارشناسان هر صنعت نهادینه می‌شود. همچنین، با انتخاب مناسب نحوه آموزش، دانش نظری لازم برای اتخاذ بهترین روش آموزش برای انتقال مهارت‌های لازم در اختیار کاربر قرار می‌گیرد. از جمله شیوه‌های کاربردی آموزش، طراحی روش‌های مختلف ارزیابی و نظریه پشتیبان مهارت‌های آموزشی گوناگون است. ترکیب این مسائل با یکدیگر موجب آموزش هرچه مؤثرتر مبحث «کنترل فرایند» می‌شود. این موضوع سبب مطرح شدن قالبی با عنوان TPACK<sup>۱</sup> در سال‌های اخیر شده است. به‌عنوان نمونه برخی دانشگاه‌ها مانند ناتینگهام ترنت<sup>۲</sup> واقع در کشور انگلستان از چارچوب TPACK برای آموزش «کنترل فرایند» استفاده می‌کنند. این ساختار در واقع، قالبی برای آموزش و توصیف دانش‌های مورد نیاز مدرس در یک چارچوب فناورانه و به‌منظور افزایش تأثیر روش‌های آموزشی است (Jwaid et al. 2014).



شکل ۱: طرح‌واره استفاده از TPACK در آموزش مهندسی کنترل (Jwaid et al. 2014).

1. Technological Pedagogical Content Knowledge
2. Nottingham Trent University (NTU)



شکل ۲: محتوای مورد نیاز در حوزه مهندسی «کنترل فرایند» (Accomplishments and prospects of control, 2012).

از طرفی باید توجه داشت که تسلط به مبحث مهندسی «کنترل فرایند» به فراگیری هم‌زمان چند رشته مختلف نیاز دارد. در رابطه با محتوای مهندسی «کنترل فرایند»، تعاملات و مرزهای مهندسی کنترل، ریاضیات، مهندسی مخابرات، فیزیک، علوم مهندسی به‌صورت کلی، زیست‌شناسی و اقتصاد را می‌توان در قالب شکل ۲ مشاهده کرد (Accomplishments and prospects of control, 2012). به‌عبارت‌دیگر، در آموزش گرایش مهندسی «کنترل فرایند» ضروری است که دانشجوی کنترل ضمن تسلط به مفاهیم فیزیکی سیستم، به چگونگی مدل‌سازی ریاضی اجزای سیستم پیش از تبدیل آنها به کدهای برنامه‌نویسی نیز مسلط باشد. بنابراین، برای فراهم آوردن توانایی لازم در یک دانشجوی مهندسی «کنترل فرایند»، نیاز به آموزش دانش پایه در تمامی حوزه‌های فوق وجود دارد. به بیان‌دیگر، وجود خلأ اطلاعاتی در هر کدام از آن زمینه‌ها موجب ناتوانی فرد در نحوه مواجهه صحیح با فرایندهای صنعتی مورد مطالعه می‌شود. همچنین، بدیهی است که به‌دلیل پیشرفت سریع علوم مورد اشاره، به‌روزرسانی سرفصل‌های تدریس نیز خود امری اجتناب‌ناپذیر به حساب می‌آید (Jwaid et al., 2014).

شایان ذکر است، مبحث آموزش «کنترل فرایند» در سطح بین‌المللی امروزه به‌طور عمده در گروه‌های مهندسی شیمی وابسته به دانشگاه‌های صنعتی یا حتی دانشکده‌ها/گروه‌های مهندسی در دانشگاه‌های فعال در حوزه‌های فرایندی متمرکز است. به‌عنوان نمونه، گروه مهندسی برق مؤسسه نفت ابوظبی<sup>۱</sup> دو درس ۳ واحدی در دو نیمسال متوالی با محتوای کنترل فرایند برای دانشجویان مقطع کارشناسی ارائه داده است که یکی از آنها با هدف آشنایی دانشجویان با قوانین ترمودینامیک و مباحث انتقال حرارت و دینامیک

سیالات طراحی شده است و دیگری به منظور آشنایی آنها با روش‌ها و نظریه‌های مختلف و کاربردی کنترلی ارائه می‌شود. در درس اول، دانشجویان موظف به در نظر گرفتن یک فرایند حقیقی و انجام مدل‌سازی بر روی آن بوده و در درس دوم با ادامه پروژه تعریف‌شده در نیمسال قبل نسبت به طراحی کنترل‌کننده‌هایی، که به بهترین نتیجه بر روی سیستم مدل‌شده منجر شوند، اقدام می‌کنند. با بررسی نتیجه حاصل از اتخاذ این راهبرد مشخص شد دانشجویانی که پس از گذراندن این دوره به‌عنوان مهندس کنترل، جذب یکی از شرکت‌های نفت و گاز حوزه خلیج‌فارس شده‌اند، در زمینه به‌کارگیری روش‌های متفاوت تنظیم پارامترهای درونی کنترل‌کننده‌ها در عمل پیشرفت بسیار خوبی در مقایسه با سایر متخصصان آن مراکز داشته‌اند. البته لازم است به ذکر است که دانش‌آموختگان این مرکز همچنان در مواجهه با مدل‌سازی و نحوه تعامل با فرمول‌های شیمیایی دارای نقاط ضعف هستند. به‌علاوه، نیاز به آشنایی بیشتر با مباحث ابزار دقیق حوزه نفت و گاز به‌شدت در بین آن افراد احساس شده است (Al Khuffash et al., 2013).

همچنین، به‌علت گستردگی مطالب لازم جهت تکمیل آموزش در مقطع کارشناسی در رشته‌های فنی - مهندسی، تمرکز اصلی بر روی گرایش «کنترل فرایند» در مقاطع تحصیلات تکمیلی بیشتر خود را نشان می‌دهد. با این حال، برخلاف اتفاق نظری، که در حوزه سرفصل‌های آموزشی در مقطع کارشناسی بین اکثر دانشگاه‌های تراز اول دنیا وجود دارد، به‌علت محدودیت‌های ناشی از تعداد واحدهای قابل اخذ در مقاطع تحصیلات تکمیلی، چندان اجماعی در زمینه درس‌ها و نیز شیوه آموزشی مربوط به گرایش «کنترل فرایند» در بین صاحب‌نظران این حوزه در سطح بین‌المللی دیده نمی‌شود. ضمناً، با توجه به اینکه عمده‌تأ خاستگاه این گرایش گروه مهندسی شیمی دانشگاه‌های مختلف است، بنابراین دانشجویان تحصیلات تکمیلی مکلف هستند که در ابتدای امر درس‌های پایه‌ای تحصیلات تکمیلی در حوزه‌هایی مانند پدیده انتقال پیشرفته، ترمودینامیک پیشرفته و مهندسی رآکتورهای پیشرفته را گذرانده و سپس طبق موضوع تحقیقاتی خود سایر درس‌های اختیاری را انتخاب کنند. همچنین در اغلب موارد، برای دانشجویانی که علاقه‌مند به تحقیق در حوزه‌های سیستمی هستند، ضروری است که از درس‌های ارائه‌شده در سایر گروه‌ها مانند گروه مهندسی برق، گروه مهندسی مکانیک و گروه مهندسی هوا و فضا بهره‌مند شوند.

لازم به شفاف‌سازی است که گرایش «کنترل فرایند» در مقطع تحصیلات تکمیلی، مطالبی بسیار فراتر از کنترل بازخورد ساده را پوشش می‌دهد و شامل مدل‌سازی و شناسایی سیستم به همراه مباحث پیشرفته‌تر مربوط به حوزه علم کنترل می‌شود و بنابراین شاید بهتر باشد که عنوان گرایش «سیستم و کنترل» را بر روی آن نهاد. در حال حاضر چون دهه‌های گذشته، در سطح جهانی هنوز هم درس‌های سیستمی به‌عنوان درس‌های اصلی در گروه مهندسی شیمی در نظر گرفته نمی‌شود و جای تعجب است که علی‌رغم اینکه تمام حوزه‌های مهندسی شیمی وابسته به ابزارهای مدل‌سازی هستند، تنها تعداد محدودی از گروه‌های

شاخص در سطح بین‌المللی درس‌های پایه و عمومی مدل‌سازی را برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی خود به‌صورت نظام‌مند ارائه می‌دهند. این واقعیت که در بسیاری از گروه‌های مهندسی شیمی، تنها یک درس سیستمی در طی یک سال تحصیلی ارائه می‌شود، خود مؤید وجود اختلاف‌نظر اساسی در زمینه تدریس درس‌های بنیادی مهندسی کنترل سیستم از یک‌سو یا معرفی مباحث جدید تحقیقاتی از سوی دیگر در بین تصمیم‌سازان است. از طرفی، کاملاً روشن خواهد بود که ورود متخصصان و استادان کنترل و جذب آنها در سایر گروه‌های مهندسی (مانند گروه مهندسی شیمی) می‌تواند تا حد زیادی به تبیین و شفاف‌سازی اهمیت و ضرورت ارائه این قبیل درس‌ها در گروه‌های مورد‌بحث منجر شود.

در تحقیقی که با هدایت ادگار<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۶)، استاد دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه تگزاس آستین و با کمک سایر همکاران به‌وسیله ارسال فرم نظرسنجی در زمینه سرفصل‌های مناسب درسی در حوزه گرایش «کنترل فرایند» در تعدادی از دانشگاه‌های برتر دنیا صورت گرفته است. استادان و دانشجویان دانشکده‌های مختلف فهرستی از تمایلات خود در رابطه با محتوا و تعیین مسیر درس‌ها را پیشنهاد کرده‌اند که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از:

- درس‌های مناسب برای آموزش و یادگیری مفاهیم کنترلی پیشرفته.
  - درس‌های مبتنی بر راهبردهای مختلف کنترلی باهدف کارآمد بودن برای متخصصان صنایع مختلف.
  - مواد درسی مناسب برای ایجاد آمادگی به‌منظور ادامه تحقیق در مقطع دکتری.
  - مواد درسی با محتوای رویکردهای عددی - محاسباتی برای حل مسائل شبیه‌سازی، بهینه‌سازی و کنترل.
- بدیهی است که این عدم توافق و پراکندگی سلايق در نیازهای آموزشی، منجر به رویکردهای مختلف در سطح جهانی، در طرح درس و در دانشگاه‌های گوناگون برحسب سلیقه مدیر گرایش می‌شود و عمدتاً اتخاذ سیاست‌های زیر را به همراه خواهد داشت:
- تدریس درس‌های اصلی در نظر گرفته‌شده مرتبط با مبحث مهندسی کنترل.
  - ارائه مجموعه‌ای از موضوعات پیشرفته و نوین در زمینه مهندسی کنترل در قالب یک درس.
  - آموزش نظریه‌های پیشرفته کنترلی برای جهت‌دهی دانشجویان در راستای اهداف پژوهشی زیر نظر استادان راهنما.

در همین راستا، مهم‌ترین موضوعات مشترک پوشش داده شده برای ارائه درس‌های کنترلی حسب هریک از انتخاب‌های مطرح شده فوق عبارت‌اند از:

تجزیه و تحلیل فضای حالت سیستم‌های خطی، مدل‌سازی سیستم‌های فیزیکی، بیان مفاهیم توابع تبدیل و انتقال، بیان ماتریسی معادلات سیستم، ارائه نظریه تحقق و مفاهیمی مانند کنترل پذیری<sup>۱</sup> و رؤیت پذیری<sup>۲</sup>، بررسی پایداری سیستم‌های خطی تغییرناپذیر با زمان<sup>۳</sup>، طراحی کنترل کننده بازخورد و جایابی قطب، طراحی LQR/LQG مقاوم، تحلیل و طراحی سیستم‌های کنترلی زمان گسسته، نحوه لحاظ کردن درجه آزادی و ساختار کنترل کننده، طراحی کنترل کننده‌های مقاوم و تطبیقی.

شایان ذکر است که در اغلب مراکز علمی معتبر بین‌المللی رویکردهای عددی و محاسباتی (به‌عنوان مثال با به‌کارگیری جعبه‌ابزارهای موجود در نرم‌افزار متلب<sup>۴</sup>) به صورت موازی با مفاهیم نظری تدریس می‌شوند. ضمناً، می‌توان مشاهده کرد که حتی برای موضوعات صرفاً نظری نیز رویکرد غالب در اکثر مراکز ارائه‌دهنده گرایش مهندسی «کنترل فرایند»، تأکید بر شناسایی نحوه به‌کارگیری آن روش‌ها در حوزه کاربردهای عملی است.

## ۱.۲. تجربیات آزمایشگاهی در دانشگاه‌های معتبر بین‌المللی

به‌طور کلی، در اکثر برنامه‌های آموزشی، که برای دانشجویان مقاطع تحصیلات تکمیلی در نظر گرفته می‌شود، دوره‌ای که در آن بتوان از تجربیات آزمایشگاهی در زمینه آموزش «کنترل فرایند» بهره برد به‌ندرت وجود دارد. البته این مسئله چندان هم تعجب‌برانگیز نیست؛ به این علت که بسیاری از دانشجویان گرایش «کنترل فرایند» در صورت نیاز تجربیات عملی را در هنگام انجام پایان‌نامه کارشناسی ارشد یا رساله دکتری خود کسب خواهند نمود. به همین دلیل است که تنها تعداد معدودی از دانشگاه‌های بین‌المللی به ارائه دوره‌های آزمایشگاه‌محور برای دانشجویان مقاطع تحصیلات تکمیلی می‌پردازند. از آن جمله می‌توان دانشگاه منچستر، دانشگاه لس‌آندس، دانشگاه صنعتی دانمارک، دانشگاه اشتوتگارت، دانشگاه یوتا، دانشگاه ایالتی اوکلاهما، دانشگاه آلبرتا، دانشگاه لیهی<sup>۵</sup>، مدرسه عالی پلی‌تکنیک فدرال لوزان<sup>۶</sup>، دانشگاه واترلو، دانشگاه پلی‌تکنیک مونترال، دانشگاه

- 
1. Controllability
  2. Observability
  3. Linear Time Invariant (LTI)
  4. MATLAB
  5. Lehigh University
  6. Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (EPFL)



UPB<sup>۱</sup> و دانشگاه کلمبیا (Vasquez et al., 2014) را نام برد. تعدادی از گروه‌ها، به‌ویژه آنهایی که درس‌های بین‌رشته‌ای ارائه می‌دهند، از آزمایشگاه‌هایی غیر از آزمایشگاه‌های مستقیماً مرتبط با حوزه مهندسی شیمی، استفاده می‌کنند (مانند طراحی آزمایش‌های متنوع بر مبنای سیستم پاندول معکوس). ضمناً بررسی‌های صورت‌گرفته نشان داده است که اکثر دانشگاه‌ها انجام شبیه‌سازی و آموزش به کمک محیط شبیه‌ساز را به علت سادگی کارکرد و نیز با توجه به نیاز به هزینه اولیه و هزینه بهره برداری کمتر، ترجیح می‌دادند. با این پیش‌مقدمه، بررسی دقیق‌تر بر روی محتوای آموزشی تعدادی از دانشگاه‌هایی، که به ارائه دوره‌های آزمایشگاه‌محور در حوزه «کنترل فرایند» می‌پردازند، در این قسمت از مقاله صورت می‌پذیرد:

به‌عنوان نمونه، دانشگاه لیهای هرساله و به‌طور منظم اقدام به ارائه یک دوره آزمایشگاه‌محور مشترک مابین رشته‌های مهندسی مکانیک و مهندسی شیمی کرده که دانشجویان سال اول کارشناسی ارشد و دانشجویان سال آخر کارشناسی می‌توانند از این دوره استفاده کنند. این دوره آزمایشگاهی از ۱۱ آزمایش مختلف تشکیل شده است که ۵ تا ۶ آزمایش در طول یک نیمسال پوشش داده می‌شوند. آزمایش‌هایی که در این دوره می‌توان انجام داد عبارت‌اند از: آزمایش‌های مرتبط با سیگنال‌های شناسایی مانند پی‌آراس<sup>۲</sup>، بازخورد رله، آزمایش‌های مربوط به پایداری و نیز کاربرد سیستم‌های پی‌ال‌سی<sup>۳</sup> در ربات‌های صنعتی. همچنین در دانشگاه آلبرتای کانادا، در مقطع تحصیلات تکمیلی دانشجویان به‌طور تجربی و در محیط آزمایشگاه به ارزیابی روش‌های کنترل پیشرفته بر روی فرایندهایی در مقیاس آزمایشگاهی می‌پردازند و علاوه بر آن با سازوکار صحیح و اصولی جمع‌آوری داده‌های حاصل از کنترل حلقه باز و حلقه بسته با هدف شناسایی سیستم آشنا می‌شوند. در آزمایشگاه کنترل فرایند واقع در دانشگاه پلی‌تکنیک مونترال به دانشجویانی که درس‌های «کشت میکروپ در مقیاس سلولی» و نیز «شناسایی و کنترل فرایندهای زیستی» را گذرانده‌اند، آزمایش‌هایی به‌عنوان کار کلاسی واگذار می‌شود. این آزمایش‌ها شامل طراحی و ارزیابی عملکرد راهبردهای گوناگون کنترلی اعمال‌شده بر روی متغیرهای محیطی مانند مقدار اکسیژن محلول و نیز میزان پ.هاش محیط است. در دانشگاه صنعتی دانمارک<sup>۴</sup>، دوره‌ای با عنوان بهره‌برداری از سیستم‌های شیمیایی ارائه می‌شود که دانشجویان را با سیستم‌های کاربردی آشنا می‌کند. به‌عنوان مثال، سیستم شبیه‌ساز فرایند ستون تقطیر که شامل اندازه‌گیری، کنترل و سیستم نظارت بر ایمنی

- 
1. Universidad Pontificia Bolivariana
  2. Pseudo-Random-Binary-Signal (PRBS)
  3. Programmable-Logic-Controller (PLC)
  4. Technical University of Denmark (DTU)

است در آن بخش مورد بررسی دقیق قرار می‌گیرد. موضوعاتی، که عمدتاً در آن آزمایشگاه پوشش داده می‌شود، عبارت‌اند از نحوه انجام واسنجی<sup>۱</sup> تجهیزات مختلف به‌منظور اندازه‌گیری دقیق کمیت‌های گوناگون، استخراج ساختار بلوک دیاگرامی حلقه‌های کنترلی، مقدماتی بر سلسله‌مراتب کنترل سیستم، مباحث مرتبط با ایمنی واحدهای صنعتی، نحوه بررسی و تحلیل دیاگرام‌ها و نقشه‌های تولید محصول و تأثیر زمان‌بندی مناسب بر روی عملکرد کلی سیستم. شایان ذکر است که شبیه‌سازی رفتار سیستم در ناحیه عملکردی مشخص شده انجام گرفته و سپس اقداماتی مانند کنترل فرآیند با نظارت کارور و یا راه‌اندازی خودکار و توقف عملیات در حالت اضطراری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. ضمناً با توجه به اهمیت بهره‌مندی از تجربیات آزمایشگاهی، برخی از دانشگاه‌ها مانند ISEL<sup>۲</sup> واقع در کشور پرتغال یک آزمایشگاه خودکارسازی<sup>۳</sup> صنعتی با قابلیت ارتباط اینترنتی برای دانشجویان فراهم کرده تا بتوانند حتی به‌صورت ارتباط از راه دور نتایج تحقیقات خود را مورد ارزیابی عملی قرار دهند. بدین طریق، دانشجویان در زمان‌هایی که حجم کاری در نیمسال تحصیلی کمتر باشد، نیز قادر به یادگیری و انجام آزمایش‌های مختلف خواهند بود و این موضوع موجب افزایش بهره‌وری آموزشی آنها می‌شود (Mendes and Martins, 2014).

مثال دیگر اینکه در دوره‌هایی که در سطح کارشناسی ارشد و دکتری در مدرسه عالی پلی‌تکنیک فدرال لوزان ارائه می‌شود، آزمایش‌ها به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که خصوصیات دینامیکی فرایندهای صنعتی مانند اشباع محرک، توفه<sup>۴</sup> اندازه‌گیری و اثرات غیرخطی بتوانند توسط دانشجویان رصد شوند و مورد ارزیابی قرار گیرند. به‌منظور پاسخ‌گویی به نیاز طیف وسیعی از دانشجویان با پیش‌زمینه‌های متفاوت از رشته‌های مختلف، سیستم‌های گوناگون میکاترونیکی، هیدرولیکی و گرمایی در این آزمایش‌ها استفاده می‌شوند. با استفاده از سیستم‌های موجود، ۱۳ فرایند فیزیکی - شیمیایی متفاوت با هدف پوشش دادن تمامی آزمایش‌های طراحی شده مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در آن مؤسسه کار آزمایشگاهی برای دانشجویان در ۶ نیمسال تحصیلی اجباری است. البته مقدار ساعاتی که برای کار در آزمایشگاه در نظر گرفته شده است، بسته به رشته تحصیلی دانشجویان متفاوت است. به‌طور متوسط در هر سال تحصیلی در حدود ۱۵۰ دانشجو برای شرکت در کلاس‌های آزمایشگاهی ثبت‌نام کرده و حدود ۱۰ ساعت در هفته کار آزمایشگاهی انجام می‌دهند. بدیهی است که تمامی تجهیزات

۱. برابر نهاد فارسی واژه «کالیبراسیون»، مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی

2. Instituto Superior de Engenharia de Lisbon

۳. برابر نهاد فارسی واژه «اتوماسیون»، مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی

۴. برابر نهاد فارسی واژه «تویز»، مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی

آزمایشگاهی به سیستم جمع‌آوری داده و کنترل مجهز هستند و کل اطلاعات در یک بانک داده جمع‌آوری شده‌اند. ضمناً، کنترل‌کننده‌های الکترونیکی صنعتی با هدف آشنایی دانشجویان با تجهیزاتی که در صنعت استفاده می‌شوند نیز طی آزمایش‌های موردطراحی به دانشجویان معرفی می‌شود. نکته دیگر اینکه در آزمایشگاه موردنظر، ادواتی مانند سرو - موتور<sup>۱</sup>، تجهیزات کمک‌آموزشی فرایندهای شیمیایی و آزمایش پاندول معکوس به دو صورت در محل یا کنترل از راه دور، از طریق درگاه eMersion، در اختیار دانشجویان قرار گرفته تا بتوانند از راه‌های مختلف آزمایش‌های لازم را بر روی آنها پیاده‌سازی نمایند. به‌عنوان مثال نهایی در این بخش، می‌توان به «مؤسسه نظریه سیستم‌ها» واقع در دانشگاه اشتوتگارت اشاره کرد که در آن مرکز آزمایش‌های طراحی‌شده مباحثی مانند اصول کنترل چندمتغیره را با بهره‌گیری از فرایند ستون تقطیر و پاندول معکوس پوشش می‌دهند.

## ۲.۲. کاربرد محیط‌های شبیه‌ساز مختلف در دوره‌های تحصیلات تکمیلی

همان‌گونه که پیش‌تر نیز اشاره شد، استفاده از شبیه‌سازهای مختلف در دوره‌های تحصیلات تکمیلی در اکثر دانشگاه‌ها در سطح جهانی امری رایج است. شواهد حاکی از آن است که از «شبیه‌سازی» به‌عنوان محور اصلی آموزش دانشجویان در طول هر نیمسال تحصیلی در سطح بین‌المللی استفاده می‌شود. علت این امر این است که جامعه علمی حدوداً از سال ۱۹۸۰ متوجه نیاز صنعت به ارزیابی کارآیی طراحی‌های انجام‌شده در یک محیط شبیه‌ساز معتبر شده است (Manca et al., 2012). عموماً دانشگاه‌هایی که دارای واحدهای عملیاتی هستند و با داده‌های صنعتی سروکار دارند کمتر از شبیه‌سازی استفاده می‌کنند. با این حال، حتی گروه‌هایی که آزمایشگاه‌های مجهز دارند، مانند دانشگاه منچستر، معتقدند که استفاده از «شبیه‌سازی» در مطالعات موردی امری بسیار سودمند است. شبیه‌سازهای مورد استفاده در دانشگاه‌ها و صنایع مختلف معمولاً به سه دسته اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند:

الف. شبیه‌سازهای دینامیکی بلوک - مینا مانند Matlab/Simulink، VisSim و Scicos.

ب. شبیه‌سازهای بر مبنای واحد فرایند موردنظر مانند Aspen Dynamic، CHEMCAD و DYNASIM.

پ. شبیه‌سازهای ثابت مانند Hyperion، GSE Systems و TCS Simulation (Postlethwaite, 2016).

شایان ذکر است که شبیه‌سازهای بلوک - مینا منعطف‌ترین ابزار در بین سه دسته اشاره‌شده فوق هستند. این نوع شبیه‌سازها تنها یک رابط کاربر و تعدادی الگوریتم متنوع را ارائه می‌کنند. اصولاً در اینگونه شبیه‌سازها کدنویسی و به دست آوردن فرمول‌های موردنیاز برای تولید مدل بر عهده کاربر

است. این دسته شبیه‌سازها برای تدریس گام‌های شبیه‌سازی دینامیکی بسیار مفیدند ولی از منظر توانایی نمایش مشخصات کامل سیستم مورد کنترل، محدود هستند.

شبیه‌سازهای برمبنای واحد فرایند، عموماً در سطح سیستم‌های صنعتی مطرح می‌شوند و برای شبیه‌سازی در شرایط واقعی به کار می‌روند. این نوع شبیه‌سازها بسیار کاربردی‌تر از شبیه‌سازهای بلوک - مبنا بوده و این امر خود موجب بالاتر بودن قیمت آنها می‌شود. دوره‌های آموزشی که از چنین شبیه‌سازهایی استفاده می‌کنند، معمولاً بیش از آنکه به آموزش روش‌های کنترلی توجه داشته باشند، به دوره‌های آموزشی آن نوع نرم‌افزارها تبدیل می‌شوند.

شبیه‌سازهای ثابت، که از یک سیستم به همراه یک پیکربندی مشخص برای کنترل‌کننده استفاده می‌کنند، هم در صنعت و هم در محیط‌های آموزشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. چنین شبیه‌سازهایی معمولاً از یک رابط برای کاربر، که بسیار شبیه خط تولید مورد نظر است، استفاده می‌کنند. نقطه ضعف این نوع شبیه‌سازها آن است که سیستم و ساختار ثابت کنترل‌کننده، استفاده آنها را برای شبیه‌سازی روش‌های متنوع کنترلی (به جز روش‌های بسیار ساده) محدود می‌کند.

مطالعات موردی که برای شبیه‌سازی استفاده شده‌اند، اغلب سیستم‌های استاندارد بوده که در مهندسی شیمی به کار گرفته می‌شوند. این موارد اغلب شامل ستون تقطیر، راکتورهای شیمیایی و فرایند پ.هاش است. همچنین، می‌توان به تعدادی از فرایندهای دیگر که از عمومیت کمتری برخوردارند، مانند اکستروژن فیلم بسیاری و فرایند کوره آهک‌پزی اشاره کرد. ضمناً برخی از مؤسسه‌های فعال در این حوزه از شبیه‌سازی سیستم‌های ابعاد - بزرگ<sup>۱</sup> برای مطالعات موردی خود استفاده می‌کنند. از مشهورترین این فرایندها می‌توان از فرایند تنسی - ایستمن<sup>۲</sup>، تجزیه‌گر شل<sup>۳</sup>، یا نمونه‌های توسعه‌یافته در محیط هابسیس<sup>۴</sup> نام برد. همچنین تعدادی از گروه‌های آموزشی متعلق به دانشگاه‌های واقع در خاور دور، از مثال‌هایی مرتبط با صنایع میکروالکترونیک بهره می‌برند. در ضمن علی‌رغم این واقعیت که مثال‌های مرتبط با فرایندهای بیویستی به نسبت کم می‌باشند اما شواهد حاکی از آن است که دانشجویانی که بر روی این نوع سیستم‌ها کار می‌کنند، توانسته‌اند در همین راستا مطالعات موردی نسبتاً زیادی را گسترش داده و شبیه‌سازی کنند.

- 
1. Large-Scale
  2. Tennessee-Eastman
  3. Shell
  4. HYSYS

در دانشگاه ملی علم و صنعت تایوان به‌طور وسیع از شبیه‌سازی در مطالعات موردی استفاده می‌شود که تقریباً در تمامی شبیه‌سازی‌های انجام‌شده از محیط سیمولینک<sup>۱</sup> نرم‌افزار متلب استفاده شده است (Beloïu, 2013). در دانشگاه استراتکلاید<sup>۲</sup>، به‌عنوان یکی از دانشگاه‌های معتبر انگلستان، از هر سه گروه شبیه‌ساز مورد اشاره برای آموزش «کنترل فرایند» استفاده می‌شود. البته در آن دانشگاه پس از مدتی استفاده از شبیه‌ساز اسپن - داینامیکس<sup>۳</sup> به‌منظور شبیه‌سازی فرایندهای کنترلی، این نتیجه به دست آمد که مثال‌های در نظر گرفته شده برای دانشجویان بیش از نحوه طراحی کنترل‌کننده‌های مناسب در فرایندهای مختلف، به چگونگی انجام شبیه‌سازی در محیط نرم‌افزار مورد نظر معطوف شده است. بنابراین، در آن دانشگاه و در راستای حل این مسئله در سال‌های اخیر از شبیه‌سازهای بلوک‌مبنا مانند VisSim و سیمولینک استفاده کرده‌اند (Manca et al., 012) همچنین نرم‌افزار K-Spice، به‌عنوان یک شبیه‌ساز واحدهای عملیاتی نفت و گاز، از سال ۲۰۱۰ به بعد به دانشجویان گرایش «کنترل فرایند» در دانشگاه HiOA<sup>۴</sup> به‌منظور درک بهتر آنها از نحوه کارکرد این نوع سیستم‌ها آموزش داده می‌شود. شایان ذکر است که بررسی آماری حاکی از رضایت بیش از ۹۰ درصد دانشجویان از برگزاری چنین آموزشی بوده است (Marcano and Komulainen, 2016).

به‌طور کلی انجام شبیه‌سازی در زمینه مطالعات موردی برای آماده‌سازی دانشجویان در مواجهه با مشاغل صنعتی بسیار با اهمیت است. دلیل این موضوع آن است که در بسیاری از صنایع پیشرفته از شبیه‌سازی‌های واقعی به‌عنوان یک قسمت مکمل و مهم برای آموزش کارور و نیز پشتیبانی از تصمیمات اتخاذشده توسط مهندسان استفاده می‌شود. بنابراین، ارائه نحوه شبیه‌سازی مطالعات موردی در این سبک باید همواره به‌عنوان بخشی مهم از آموزش مهندسان حوزه‌های مرتبط با «کنترل فرایند» مدنظر قرار گیرد.

۳.۲. مهارت‌های موردانتظار از یک دانش‌آموخته دوره دکتری مهندسی «کنترل فرایند» یک پرسش اساسی دیگر که لازم است حتماً در بحث آموزش «کنترل فرایند» به آن پاسخ داده شود این است که آموزش دانشجویان دوره دکتری فعال در آن حوزه باید به چه نحوی باشد که آنها را برای اشتغال در صنایع تخصصی مرتبط آماده نماید. فهرست زیر خلاصه‌ای از انتظارات صنایع مختلف

- 
1. Simulink
  2. Strathclyde
  3. Aspen-Dynamics
  4. Oslo and Akershus University College of Applied Science

که در حوزه‌های شیمی، نرم‌افزار و تولید نیمه‌رساناها فعالیت می‌کنند، ارائه می‌دهد:

- توانایی استفاده از ریاضیات، توانایی به‌کارگیری انواع نرم‌افزارهای مرتبط و نیز برخورداری از مهارت بالای برنامه‌نویسی.
- تسلط به مباحث فنی و چالش‌های موجود در استفاده از روش‌های کنترلی پیشرفته (مانند MPC).
- توانایی تبدیل داده‌های خام به اطلاعات مفید و تصمیم‌گیری مناسب جهت انجام کنش‌های احتمالی.
- توانایی تبدیل مسائل پیچیده واقعی به یک مدل ریاضی معتبر.
- درک کیفیت داده‌ها و کیفیت مدل‌ها.
- دارا بودن مهارت‌های بالای ارتباطی، توانایی رهبری پروژه‌های مختلف، توانایی انجام کار گروهی، توانایی فروش ایده‌ها به‌واسطه فن بیان و متقاعدسازی خریدار.
- توانایی انجام کار به‌صورت مستقل، مسئولیت‌پذیری و نیز برخورداری از تعهد لازم جهت تکمیل پروژه در زمان مشخص.
- توانایی برقراری تعاملات سازنده با مشتریان، کاربران نهایی، کارورهای سیستم و مدیران.
- تمایل داشتن به ورود در حوزه‌های جدید علمی برای حل چالش‌های پیش‌رو.
- بهره‌مندی از تجربه‌های صنعتی در حوزه‌های گوناگون.

بدیهی است که چنانچه دانشجویان دوره‌های تحصیلات تکمیلی و به‌ویژه دوره دکتری مهندسی «کنترل فرایند» با چنین قابلیت‌هایی دانش‌آموخته شوند آنگاه می‌توان به جرأت ادعا نمود که پیشرفت در محیط‌های دانشگاهی به‌خوبی امکان به‌کارگیری در صنایع مختلف را خواهند داشت. از مثال‌های استفاده از این راهبرد در صنعت می‌توان به طراحی کنترل‌کننده مبتنی بر مدل پیش‌بین در فضای حالت، نظارت دائمی بر عملکرد کنترل‌کننده‌های طراحی‌شده و نیز شناسایی زیرسیستم‌ها در صنایع مختلف اشاره کرد. به‌علاوه، ویژگی دیگری که برای دانش‌آموختگان دکتری این حوزه می‌توان برشمرد، عطش فراوان برای درک مفاهیم نوین نظری از طریق مقالات منتشرشده در مجلات معتبر جهت به‌کارگیری آن ایده‌ها در اتاق‌های کنترلی صنایع مختلف است.

۴.۲. فرصت‌های شغلی برای دانش‌آموختگان خارج از کشور فعال در حوزه کنترل فرایند بر طبق اطلاعات به‌دست‌آمده به جرأت می‌توان ادعا نمود که فرصت‌های شغلی برای دانش‌آموختگان دوره‌های تحصیلات تکمیلی مهندسی «کنترل فرایند» در طی سالیان آتی زمینه‌های روبه‌رشد وسیعی را پوشش خواهند داد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (Frontiers in Chemical Engineering Education, 2006):

- ارائه راه‌حل‌های کاربردی به مشتری در حوزه‌های مختلف؛
- یکپارچه‌سازی خدمات فنی، در حوزه فرآوری مواد شیمیایی گوناگون؛
- زمینه‌های مرتبط با فناوری اطلاعات، الکترونیک و مخابرات؛
- حوزه مرتبط با نیمه‌هادی‌ها (از قبیل ساخت صفحه‌های نمایش، سنتز بسپارهای خاص، و نیز حوزه انرژی)؛
- حوزه علوم پزشکی (تشخیص، سنتز بافت‌های مصنوعی، جراحی)؛
- سنتز مواد شوینده و نظافتی؛
- فرآوری مواد اولیه ادوات مکانیکی و الکتریکی (خودروها و هواپیماها)؛
- صنایع نفت، گاز و پتروشیمی.

روشن است که با توجه به گستردگی کاربرد دانش «کنترل فرایند» در صنایع مختلف، به‌راحتی می‌توان مهارت دانشجویان تحصیلات تکمیلی مرتبط با این حوزه را در بسیاری از زمینه‌های مطرح‌شده صنعتی به‌کار گرفت. البته طی سالیان اخیر مشاهده شده است که خوشبختانه بسیاری از شرکت‌های صنعتی تمرکز بیشتری بر روی استفاده از علوم و فناوری‌های نوین مرتبط به خرج می‌دهند. از طرف دیگر، دانش‌آموختگان دوره دکتری تخصصی این حوزه نیز نیاز دارند که خود را با مشکلات صنایع جدید وفق دهند و به ارائه راه‌حل‌های کاربردی برای مشتریان بپردازند. در همین راستا، پیش‌بینی می‌شود که ارتقای مهارت‌های مدل‌سازی و تصمیم‌گیری، که به‌واسطه ایجاد یک سیستم آموزشی کاربردی در دانشجویان به وجود می‌آید، در آینده نه‌چندان دور بسیار مورد توجه قرار خواهد گرفت.

### ۳. ارزیابی وضعیت فعلی آموزش «کنترل فرایند» در داخل کشور

#### ۳.۱. روش‌شناسی پژوهش

در این تحقیق برای دستیابی به اهداف پژوهش و شناخت فاصله موجود بین دانشگاه‌های داخلی فعال در حوزه «کنترل فرایند» با استانداردهای آموزش و پژوهش متناسب با این گرایش در دانشگاه‌های تراز اول بین‌المللی، از ترکیب روش‌های کمی و کیفی استفاده شده است. در بخش کمی با استناد به داده‌های

۴۸ ارزیابی و مقایسه مابین کیفیت سطح آموزش «مهندسی کنترل فرایند» در ایران و کشورهای توسعه یافته ...

آماری کیفیت سطح آموزش و پژوهش در دانشگاه‌های ارائه‌دهنده گرایش «کنترل فرایند» مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در همین راستا، شرایط ۹ دانشگاه داخلی که در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۷ بنا به آمار ارائه‌شده توسط سازمان سنجش آموزش کشور اقدام به جذب دانشجو در مقطع تحصیلات تکمیلی در گرایش «مدل‌سازی، شبیه‌سازی و کنترل» در زیرشاخه مهندسی شیمی کرده‌اند، مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در این تحقیق ابتدا تعداد و عنوان درس‌های ارائه‌شده در هر یک از ۹ دانشگاه مورد مطالعه مرتبط با حوزه «کنترل فرایند» از نظر محتوا مورد بررسی قرار گرفته‌اند. همچنین، حوزه فعالیت پژوهشی ۲۳۳ عضو هیئت‌علمی در دانشکده/گروه مهندسی شیمی ۹ دانشگاه مذکور با توجه به عنوان پایان‌نامه‌ها و رساله‌های تعریف‌شده برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی و نیز مقالات منتشرشده در زمینه «کنترل فرایند» در مجلات معتبر و کنفرانس‌های مرتبط، استخراج شده (وبگاه اسکوپوس، ۲۰۱۸؛ وبگاه گوگل اسکالر، ۲۰۱۸) و طبق این اطلاعات تعداد اعضای هیئت‌علمی فعال در این حوزه در هر دانشگاه با توجه به استمرار فعالیت تحقیقاتی در این زمینه مشخص شد. پس از آن و به‌منظور اطمینان از لحاظ کردن تمام اطلاعات لازم برای ارزیابی شرایط دانشگاه‌های مورد مطالعه و نیز اطمینان از صحت اطلاعات استخراج شده، با برقراری ارتباط مستقیم و مصاحبه با حداقل یک عضو هیئت‌علمی در دانشگاه‌های مذکور، که اشراف کامل به میزان توجه به گرایش «کنترل فرایند» در دانشگاه مورد بررسی داشته‌اند، نهایت تلاش صورت پذیرفت تا ارزیابی وضعیت به بهترین نحو ممکن انجام گیرد. سپس ۹ دانشگاه هدف از لحاظ میزان توجه به گرایش «کنترل فرایند» در هر دو بعد آموزشی و پژوهشی در سه سطح مختلف طبقه‌بندی شدند.

۲.۳. تجزیه و تحلیل اطلاعات مربوط به دانشگاه‌های داخلی

همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، در کشور ایران تمرکز اصلی بر روی گرایش «کنترل فرایند» اغلب در دانشکده‌ها/گروه‌های مهندسی شیمی صورت پذیرفته و بر طبق اعلام رسمی سازمان سنجش آموزش کشور به‌عنوان مرجع اصلی گزینش دانشجو برای مقاطع تحصیلات تکمیلی، در طی چهار سال گذشته (از ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۷)، ۹ دانشگاه دولتی اقدام به جذب دانشجوی تحصیلات تکمیلی در رشته مهندسی شیمی - گرایش «مدل‌سازی، شبیه‌سازی و کنترل» کرده‌اند. جدول ۱ تعداد دانشجویان تحصیلات تکمیلی پذیرش شده در گرایش مورد اشاره در بازه زمانی ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۷ و برای دوره‌های روزانه و نوبت دوم در ۹ دانشگاه تحت مطالعه را نشان می‌دهد.



جدول ۱. میزان پذیرش دانشجویان تحصیلات تکمیلی در گرایش «کنترل، شبیه‌سازی و مدل‌سازی» در ۹ دانشگاه کشور بین سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۷. (دفترچه راهنمای انتخاب رشته آزمون ورودی تحصیلات تکمیلی (کارشناسی ارشد)، ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۷؛ راهنمای انتخاب رشته‌های تحصیلی آزمون ورودی دوره دکتری (نیمه‌متمرکز)، ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۷).

ردیف	نام دانشگاه	ظرفیت پذیرش دانشجویان در سال ۹۴		ظرفیت پذیرش دانشجویان در سال ۹۵		ظرفیت پذیرش دانشجویان در سال ۹۶		ظرفیت پذیرش دانشجویان در سال ۹۷	
		روزانه	نوبت دوم	روزانه	نوبت دوم	روزانه	نوبت دوم	روزانه	نوبت دوم
۱	دانشگاه تهران	۲	۲	۲	۱	-	-	-	-
۲	دانشگاه سیستان و بلوچستان	-	-	-	-	۷	۳	۱۷	۳
۳	دانشگاه شیراز	۷	-	۱۰	-	۸	-	۶	-
۴	دانشگاه صنعتی اصفهان	۶	۴	-	-	-	-	-	-
۵	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	۷	۳	-	-	-	-	-	-
۶	دانشگاه صنعتی شریف	۹	-	۱۰	-	۱۰	-	۱۰	-
۷	دانشگاه علم و صنعت	۲۰	۷	۶	۲	۶	۲	-	-
۸	دانشگاه فردوسی مشهد	۴	۲	۴	۲	۶	۳	۵	۲
۹	دانشگاه گیلان	۸	۲	-	-	-	-	-	-
۱۰	مجموع	۶۳	۲۰	۳۲	۵	۳۷	۸	۳۸	۵
۱۱	مجموع پذیرش در هر سال	۸۳	۳۷	۴۵	۴۳				

۵۰ ارزیابی و مقایسه مابین کیفیت سطح آموزش «مهندسی کنترل فرایند» در ایران و کشورهای توسعه یافته ...

همان‌گونه که در جدول ۱ نیز مشاهده می‌شود در سال ۱۳۹۴، ۸ دانشگاه در سطح کشور اقدام به جذب دانشجوی تحصیلات تکمیلی در گرایش «مدل‌سازی، شبیه‌سازی و کنترل» کرده‌اند ولی این تعداد در سال ۱۳۹۷ به ۴ دانشگاه کاهش یافته است. همچنین مجموع تعداد دانشجویان جذب‌شده برای گرایش مذکور برای دوره‌های روزانه و نوبت دوم، در سال ۱۳۹۷ در مقایسه با سال ۱۳۹۴ به میزان ۴۸ درصد کاهش داشته و از ۸۳ نفر به ۴۳ نفر رسیده است. مشاهده می‌شود که این کاهش در این گرایش حساس و حیاتی و آن هم در زمانی که اکثر صنایع کلیدی کشور نیازمند به‌کارگیری متخصصان این حوزه هستند، چندان امر مطلوبی تلقی نمی‌شود. همچنین همان‌طور که در جدول ۱ نیز قابل رؤیت است، در بازه زمانی موردبررسی سه دانشگاه؛ شیراز، صنعتی شریف و فرودسی مشهد به‌طور پیوسته به جذب دانشجو در این گرایش اقدام کرده و شش دانشگاه دیگر در برخی از سال‌ها فرایند جذب دانشجو در گرایش مذکور را متوقف کرده‌اند.

ضمناً در جدول ۲، تعداد کل اعضای هیئت‌علمی فعال در دانشکده/گروه مهندسی شیمی دانشگاه‌های مطالعه‌شده به همراه تعداد اعضای هیئت‌علمی فعال در زمینه موضوعات مرتبط با حوزه «کنترل فرایند» نمایش داده شده است. شایان ذکر است که برای شناسایی اعضای هیئت‌علمی فعال در گرایش «کنترل فرایند»، علاوه بر بررسی موشکافانه اطلاعات صفحه شخصی هر یک از ۲۳۳ عضو هیئت‌علمی، درس‌های مرتبط ارائه‌شده توسط هر یک به همراه تعداد پایان‌نامه‌ها و رساله‌های هدایت‌شده توسط ایشان و نیز مقالات ارائه شده در کنفرانس‌های بین‌المللی و مقالات منتشرشده در مجلات مرتبط با استفاده از منابع اطلاعاتی موجود نظیر وبگاه اسکوپوس و وبگاه گوگل اسکالر مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، جهت پرهیز از قضاوت خوش‌بینانه در زمینه افراد فعال در حوزه «کنترل فرایند» یک حد آستانه برای تعداد مقالات مرتبط در نظر گرفته شد تا اگر فردی که به‌صورت موردی صرفاً یک یا دو مقاله در این حوزه دارد، به‌عنوان محقق فعال در این زمینه «کنترل فرایند» لحاظ نشود. حد آستانه تعیین‌شده در مقاله حاضر عدد ۴ در نظر گرفته شده است و با این اوصاف اگر نام هر عضو هیئت‌علمی در بیشتر از ۴ مقاله در طی ده سال گذشته وجود داشته باشد، آن فرد به‌عنوان محقق فعال در این حوزه لحاظ شده است. با این معیار و نیز در نظر گرفتن درس‌های ارائه‌شده در سال‌های مختلف تحصیلی توسط اعضای هیئت‌علمی، طبق بررسی‌ها جمعاً ۳۱ عضو هیئت‌علمی فعال در حوزه «کنترل فرایند» در گروه‌ها و دانشکده‌های مهندسی شیمی دانشگاه‌های نه‌گانه اشاره‌شده هم‌اکنون در سطح کشور مشغول به فعالیت هستند.

جدول ۲: تعداد اعضای هیئت علمی فعال در دانشکده/گروه مهندسی شیمی دانشگاه‌های مورد بررسی، به همراه تعداد اعضای هیئت علمی فعال در زمینه گرایش «کنترل فرایند». (وبگاه دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه تهران، ۱۳۹۷؛ وبگاه گروه مهندسی شیمی دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۷؛ وبگاه دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز دانشگاه شیراز، ۱۳۹۷؛ وبگاه دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۹۷؛ وبگاه دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۷؛ وبگاه دانشکده مهندسی شیمی و نفت دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۷؛ وبگاه دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز دانشگاه علم و صنعت؛ ۱۳۹۷؛ وبگاه گروه مهندسی شیمی دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۷؛ وبگاه گروه مهندسی شیمی دانشگاه گیلان، ۱۳۹۷).

ردیف	نام دانشگاه	محل ارائه گرایش «کنترل فرایند»	تعداد کل اعضای هیئت علمی فعال در دانشکده/گروه	تعداد اعضای هیئت علمی فعال در حوزه «کنترل فرایند» (برحسب مقالات بین‌المللی و عنوان درس‌های ارائه شده)
۱	دانشگاه تهران	دانشکده مهندسی شیمی	۴۵	۶
۲	دانشگاه سیستان و بلوچستان	گروه مهندسی شیمی	۱۱	۴
۳	دانشگاه شیراز	دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز	۲۱	۴
۴	دانشگاه صنعتی اصفهان	دانشکده مهندسی شیمی	۲۲	۳
۵	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	دانشکده مهندسی شیمی	۲۷	۲
۶	دانشگاه صنعتی شریف	دانشکده مهندسی شیمی و نفت	۴۵	۳
۷	دانشگاه علم و صنعت	دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز	۳۰	۵
۸	دانشگاه فردوسی مشهد	گروه مهندسی شیمی	۲۴	۳
۹	دانشگاه گیلان	گروه مهندسی شیمی	۱۱	۱
	مجموع تعداد اعضای هیئت علمی فعال		۲۳۳	۳۱

۵۲ ارزیابی و مقایسه مابین کیفیت سطح آموزش «مهندسی کنترل فرایند» در ایران و کشورهای توسعه یافته ...

همچنین در جدول ۳، فهرست درس‌های ارائه‌شده مرتبط با گرایش «کنترل فرایند» به همراه سطح فعالیت‌های پژوهشی در این حوزه با لحاظ کردن پایان‌نامه‌ها و رساله‌های دکتری و نیز مقالات منتشرشده در این زمینه مشاهده می‌شود. شایان ذکر است که دسته‌بندی میزان توجه در حوزه پژوهش به این گرایش با در نظر گرفتن تمام مقالات و پایان‌نامه‌های مرتبط در هر گروه/دانشکده بوده و طبقه‌بندی اطلاعات به صورت کیفی با شاخص‌های «خیلی کم»، «کم»، «متوسط» و «زیاد» صورت پذیرفته است. بر طبق اطلاعات ارائه‌شده در جدول ۳، می‌توان ۹ دانشگاه ارائه‌دهنده گرایش «کنترل فرایند» را در سه سطح مختلف طبقه‌بندی کرد:

#### • سطح اول:

دانشگاه‌هایی که توجه به گرایش «کنترل فرایند» در آنها هم‌سطح دانشگاه‌های تراز اول بین‌المللی فعال در این گرایش است و هم در بعد آموزشی با در نظر گرفتن محتوای درس‌های ارائه‌شده موردنیاز برای دانشجویان این گرایش و هم در بعد پژوهشی با در نظر گرفتن مقالات چاپ‌شده در مجلات معتبر و مقالات ارائه‌شده در کنفرانس‌های داخلی و بین‌المللی و نهایتاً موضوع پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد و رساله‌های دکتری استانداردهای موردانتظار در این حوزه را برآورده می‌کند. بررسی‌های صورت‌گرفته مؤید این امر است که در حال حاضر صرفاً دانشگاه صنعتی شریف در سطح اول قرار دارد.

#### • سطح دوم:

دانشگاه‌هایی که توجه بیشتر به این گرایش را در دستور کار خود قرار داده‌اند و با به‌کارگیری و جذب اعضای هیئت‌علمی متخصص در این زمینه در طی چند سال گذشته و تمرکز بیشتر بر روی مباحث مرتبط با حوزه «کنترل فرایند» از دو منظر آموزشی و پژوهشی با ارائه درس‌های مرتبط و نیز تعریف حوزه‌های تحقیقاتی جدید سعی در تقویت این گرایش داشته‌اند. در این گروه می‌توان دانشگاه تهران، دانشگاه علم و صنعت، دانشگاه شیراز، دانشگاه فردوسی مشهد و دانشگاه سیستان و بلوچستان را لحاظ کرد. نکته حائز اهمیت در زمینه دانشگاه‌های مذکور این است که علی‌رغم ارائه برخی درس‌های کلیدی مرتبط با گرایش «کنترل فرایند» در سطح آن دانشگاه‌ها و نیز در نظر گرفتن این واقعیت که تعدادی از اعضای هیئت‌علمی سعی در انجام پروژه‌های تحقیقاتی و تعریف پایان‌نامه‌های مرتبط برای دانشجویان علاقه‌مند به فعالیت در آن حوزه داشته، با این حال همچنان نیاز است که توجه بیشتری به ارائه درس‌های کلیدی و پایه‌ای این گرایش صورت پذیرد تا آشنایی دانشجویان با چالش‌های موجود در این حوزه بیشتر شده و به تبع آن تحقیقات مرتبط با آن حوزه نیز گسترش یابد.

جدول ۳: عنوان درس‌های ارائه‌شده، میزان مقالات چاپ‌شده و پایان‌نامه‌های تعریف‌شده مرتبط با گرایش «کنترل فرایند» در دانشگاه‌های مورد مطالعه.

ردیف	نام دانشگاه	درس‌های مناسب ارائه‌شده در دانشکده/گروه به‌طور مستمر، برای گرایش «کنترل فرایند»	میزان مقالات چاپ‌شده/ ارائه‌شده مرتبط با حوزه «کنترل فرایند»	میزان پایان‌نامه‌ها و رساله‌های تعریف‌شده در حوزه «کنترل فرایند»
۱	دانشگاه تهران	(۱) ریاضیات پیشرفته، (۲) شبیه‌سازی فرایند پیشرفته، (۳) کنترل فرایند پیشرفته، (۴) بهینه‌سازی پیشرفته.	متوسط	کم
۲	دانشگاه سیستان و بلوچستان	(۱) ریاضیات پیشرفته، (۲) مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرایندهای شیمیایی، (۳) بهینه‌سازی فرآیندها، (۴) کنترل پیشرفته و بهینه، (۵) کنترل دیجیتال، (۶) کاربرد هوش مصنوعی در مهندسی شیمی.	متوسط	متوسط
۳	دانشگاه شیراز	(۱) تداخل کنترل در طراحی فرایندهای شیمیایی، (۲) کنترل غیرخطی دستگاه‌های فرایندی، (۳) مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرایند در مهندسی شیمی، (۴) کاربرد هوش مصنوعی در صنایع نفت و گاز، (۵) کنترل فرایند پیشرفته، (۶) ریاضیات پیشرفته.	متوسط	متوسط
۴	دانشگاه صنعتی اصفهان	(۱) کنترل فرایند پیشرفته، (۲) ریاضیات پیشرفته.	کم	خیلی کم
۵	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	(۱) ریاضیات پیشرفته، (۲) کنترل فرایند پیشرفته، (۳) شبیه‌سازی فرایند پیشرفته.	کم	خیلی کم
۶	دانشگاه صنعتی شریف	(۱) کنترل فرایند پیشرفته، (۲) ریاضیات پیشرفته، (۳) کنترل مدرن و بهینه، (۴) کنترل دیجیتال، (۵) کاربرد هوش مصنوعی در مهندسی شیمی، (۶) کنترل غیرخطی، (۷) کنترل تطبیقی.	زیاد	زیاد
۷	دانشگاه علم و صنعت	(۱) کنترل فرایند پیشرفته، (۲) ریاضیات پیشرفته، (۳) کنترل و بهینه‌سازی.	متوسط	کم
۸	دانشگاه فردوسی مشهد	(۱) کنترل فرایند پیشرفته، (۲) کنترل غیرخطی، (۳) کنترل ابعاد - گسترده سیستم (Plant-Wide Control).	متوسط	متوسط
۹	دانشگاه گیلان	(۱) مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرایند در مهندسی شیمی، (۲) کنترل فرایند پیشرفته، (۳) ریاضیات پیشرفته.	خیلی کم	خیلی کم

• سطح سوم:

دانشگاه‌هایی که همچنان در آنها توجه به گرایش «کنترل فرایند» در بعد آموزش صرفاً در حد ارائه ۱ تا ۲ درس مرتبط با آن حوزه محدود مانده و در بعد پژوهش نیز به‌ندرت پایان‌نامه یا رساله‌ای مرتبط با موضوع «کنترل فرایند» تعریف می‌شود. در حال حاضر، سه دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشگاه صنعتی اصفهان و دانشگاه گیلان در این سطح قرار دارند. بدیهی است که در این دانشگاه‌ها، «کنترل فرایند» به‌عنوان یک حوزه آموزشی/تحقیقاتی جانبی شناخته می‌شود و از آن سمت نیز استقبال اعضای هیئت‌علمی و نیز دانشجویان برای فعالیت در این زمینه در مقایسه با دو گروه قبلی بسیار کمتر است. به بیان دیگر می‌توان اذعان کرد که در این قبیل دانشگاه‌ها، دانشجویان پذیرفته‌شده در گرایش «مدل‌سازی، شبیه‌سازی و کنترل»، عمدتاً، متمرکز بر مباحث تحقیقاتی مرتبط با «مدل‌سازی و شبیه‌سازی» بوده و کمتر به موضوع «کنترل» توجه نشان داده می‌شود.

در اینجا لازم است به این نکته نیز اشاره شود که مباحث مربوط با حوزه «کنترل فرایند»، بعضاً در دانشکده‌های مهندسی برق نیز مورد توجه محققان قرار می‌گیرد. به‌عنوان مثال، در گروه کنترل دانشکده‌های مهندسی برق دانشگاه تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشگاه صنعتی شریف، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشگاه شیراز و دانشگاه تربیت مدرس اعضای هیئت‌علمی، که علاقه‌مند به ورود به این حوزه تحقیقاتی هستند، به‌صورت موردی و محدود به تحقیق و تدریس و حتی تربیت دانشجو در این زمینه اشتغال داشته یا در مقیاس کلان‌تر و در سطح دانشکده مهندسی برق به راه‌اندازی هسته تحقیقاتی در زمینه «کنترل فرایند» اقدام کرده‌اند. با این وجود به این علت که اغلب دانشجویانی که موضوع پایان‌نامه کارشناسی ارشد یا رساله دکتری خود را در دانشکده‌های مهندسی برق مرتبط با مباحث کنترل فرایندی اخذ می‌کنند، دارای پیشینه آموزشی نسبتاً اندکی در حوزه مهندسی شیمی هستند، بنابراین جذب این افراد در صنایع فرایندی کشور و عمدتاً در مسئولیت‌های خطیر فرایندی با چالش‌هایی روبه‌رو خواهد بود. به‌عنوان مثال، در اکثر پالایشگاه‌های داخلی، مسئولیت اتاق کنترل مرکزی با مهندسان شیمی است؛ هرچند که اغلب شرایط کاری ایجاب می‌کند که از دانش و تخصص مهندسان برق گرایش کنترل در آن حوزه‌ها نیز بهره گرفت.

در این بخش به این نکته نیز اشاره می‌شود که طی یک دهه گذشته دانشگاه صنعت نفت با معرفی رشته «مهندسی اتوماسیون و ابزار دقیق در صنایع نفت» تا حد نسبتاً زیادی توانسته است با تعریف واحدهای آموزشی مناسب که به‌طور هم‌زمان موارد مربوط به مهندسی کنترل و مهندسی فرایند را پوشش می‌دهند، راهکاری مؤثر برای ورود دانشجویانی با پیشینه تحصیلی متفاوت از رشته‌های مهندسی برق، مهندسی مکانیک و مهندسی شیمی به مباحث کنترل فرایندی و آن هم با نگرشی کاملاً صنعتی در حوزه‌های بالادستی و پایین‌دستی فراهم

آورد. مهم‌ترین درس‌های کنترلی و فرایندی ارائه شده برای دانشجویان این رشته در نیمسال‌های مختلف عبارت‌اند از (وبگاه گروه ابزار دقیق و اتوماسیون دانشگاه صنعت نفت، ۱۳۹۷): کنترل فرایند پیشرفته، ابزار دقیق پیشرفته، شبیه‌سازی و مدل‌سازی فرایندها، شناسایی سیستم، کنترل هوشمند فرایندها، کنترل غیرخطی، کنترل مدرن و دیجیتال، ابزار دقیق چاه‌های نفت و گاز، معرفی و طراحی سیستم‌های پی‌ال‌سی، معرفی و طراحی سیستم‌های دی‌سی‌اس<sup>۱</sup>، معرفی و طراحی سیستم‌های کنترل نظارتی و جمع‌آوری داده<sup>۲</sup>.

با توضیحات ارائه شده در این بخش می‌توان اذعان نمود که علی‌رغم نیاز فراوان دانشگاه‌ها و صنایع داخلی به بهره‌گیری از متخصصان «کنترل فرایند»، هم‌اکنون تعداد انگشت‌شماری از دانشگاه‌های داخلی به ارائه آموزش مؤثر به دانشجویان در این تخصص به‌معنای واقعی کلمه و آن هم به‌صورت نظام‌مند و منطبق با استانداردهای آموزشی روز دنیا اقدام می‌کنند. به بیان دیگر، در اکثر دانشگاه‌های کشور، تا حد نسبتاً زیادی این گرایش از ذات حقیقی و اهداف ترسیم‌شده اولیه فاصله دارد. از طرفی همان‌طور که پیش‌تر نیز ذکر شد، نیاز به تربیت متخصص در این حوزه از اولویت‌های آموزشی کشور بوده و بنابراین ضروری است که سیاست‌گذاران آموزش عالی با ترسیم نقشه راه مناسب و انجام هدف‌گذاری درست در جهت بهبود شرایط فعلی قدم بردارند.

#### ۴. ارائه پیشنهادات و راهکارهای عملی جهت دستیابی به سطح معتبر آموزشی در حوزه «کنترل فرایند» در کشور

اولین قدم در راستای اصلاح هر مشکل و بهبود شرایط در زمینه نحوه آموزش یک رشته خاص، شناسایی دقیق نقاط ضعف و به دست آوردن آگاهی از وضعیت موجود است. متأسفانه اکثر دانشگاه‌های داخلی، که ادعای فعالیت در حوزه «کنترل فرایند» را دارند، تاکنون نتوانسته‌اند اطلاع‌رسانی مناسبی از چگونگی ارائه این گرایش در سطح دانشگاه به همراه فهرست درس‌های تدریس‌شده و مراجع به کار گرفته‌شده در هر نیمسال ارائه دهند. در اختیار نبودن این اطلاعات کلیدی سبب می‌شود که به‌راحتی نتوان ارزیابی مناسبی از شرایط فعلی سطح آموزش داخلی و همچنین میزان فاصله موجود با استانداردهای بین‌المللی انجام داد تا به دنبال آن نسبت به رفع ایرادات و کاستی‌های رصدشده اقدام نمود. بنابراین طبق این توضیحات، اولین گام این است که در ابتدایی‌ترین سطح، اطلاع‌رسانی لازم با الگوبرداری از دانشگاه‌های معتبر بین‌المللی انجام گیرد و وبگاه‌های مربوط به درس‌های ارائه‌شده به‌صورت مستمر به‌روزرسانی شود و در قدم‌های بعدی از

---

1. Distributed Control Systems (DCS)  
2. Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA)

روش‌های نوین اطلاع‌رسانی بهره‌برداری شود. به‌بیان‌دیگر، باتوجه‌به اینکه در دنیای امروز بسیاری از اطلاعات رشته‌ها و دانشگاه‌های تراز اول بین‌المللی، در وبگاه آن مراکز در دسترس بوده و بسیاری از مؤسسات معتبر فعال در زمینه رتبه‌بندی دانشگاه‌ها و رشته‌های تحصیلی با استناد به این اطلاعات نسبت به ارزیابی رشته‌های مختلف اقدام می‌کنند، لذا انتظار اولیه این است که دانشگاه‌های تراز اول کشور و نیز اعضای هیئت‌علمی آن مراکز در به‌روز نگه داشتن اطلاعات ارائه‌شده در صفحات شخصی خود نهایت‌اهتمام را به خرج داده و در ارائه مواردی از قبیل زمینه‌های تحقیقاتی، درس‌های ارائه‌شده، پایان‌نامه‌ها و رساله‌های هدایت‌شده، مقالات منتشرشده و... کاملاً به‌روز باشند. همچنین، ضروری است که یک مرجع مستقل نیز موظف باشد تا با پایش پیوسته این داده‌ها، اطلاعات با اهمیت را در اختیار تصمیم‌سازان حوزه سیاست آموزشی کشور قرار دهد.

همچنین نیاز است که از طریق دو کانال موازی دانشگاهی و صنعتی، نسبت به انجام نظرسنجی در زمینه تدوین فهرست اولیه درس‌های اصلی و اختیاری که می‌توانند ضمن برخورداری از کاربری تحقیقاتی، کاربری صنعتی هم داشته باشند، اقدام لازم صورت پذیرد و پس از جمع‌آوری اطلاعات جامع، کمیته‌ای متشکل از صاحب‌نظران دانشگاهی و متخصصان صنایع مرتبط نسبت به استخراج فهرست نهایی درس‌های ضروری با ذکر اولویت‌ها اقدام نمایند و دانشگاه‌ها و مراکز آموزشی نیز موظف شوند که نسبت به تبعیت از آن اقدام کنند. شایان ذکر است که با تحقق این امر این امکان فراهم خواهد شد که بتوان بر پایه درس‌های ارائه‌شده به دانشجویان در طی نیمسال‌های درسی مختلف، حداقل انتظارات جامعه دانشگاهی و نیز مراکز صنعتی کشور از یک دانش‌آموخته دوره تحصیلات تکمیلی شاخه «کنترل فرایند» را برآورده کنند. نکته‌ای که لازم است به آن توجه شود این است که پیدایش مستمر فناوری‌های نوین و نیز پدیدار شدن چالش‌های جدید در صنایع فرایندی، رعایت این امر را ضروری است که فعالیت این کمیته به‌صورت پیوسته و دائمی باشد تا در صورت نیاز نسبت به حذف درس‌های قدیمی و اضافه کردن درس‌های جدید تصمیم‌گیری شود.

مورد بعدی که سال‌ها است در کشورهای پیشرفته مدنظر قرار گرفته ولی متأسفانه در کشور ما تاکنون مغفول مانده است، جذب مستقیم دانش‌آموختگان دوره دکتری گرایش مهندسی کنترل از سایر دانشکده‌ها/گروه‌ها (مانند مهندسی برق و مهندسی مکانیک) با پیش‌زمینه تحقیقاتی در حوزه‌های مرتبط، در دانشکده‌های مهندسی شیمی و فرایند به‌عنوان عضو هیئت‌علمی است. بدیهی است که اتخاذ این سیاست سبب خواهد شد تا با برقراری یک تعامل سازنده و پایدار بتوان مستقیماً و به‌صورت پیوسته اهداف مورد تعقیب از تدریس و ارائه گرایش مهندسی «کنترل فرایند» را با کیفیت بالاتری محقق کرد. به‌بیان‌دیگر، در مجامع علمی معتبر جهانی امروزه دیگر مرزبندی‌های گذشته بین



رشته‌های مختلف وجود نداشته و همکاری‌های میان‌رشته‌ای در دانشکده‌های گوناگون به شدت تشویق می‌شود. با این حال، متأسفانه در کشور ما همچنان قوانین سنتی در محیط‌های دانشگاهی حاکم هستند. مثلاً، طبق بررسی‌های به عمل آمده مشخص شد که در دانشکده‌های مهندسی شیمی داخل کشور، فقط کسانی به عنوان عضو هیئت علمی جذب می‌شوند که دارای مدرک کارشناسی در رشته مهندسی شیمی باشند. این امر باعث می‌شود که در گرایش‌هایی نظیر «کنترل فرایند» که در حال حاضر کشور در آن حوزه با کمبود متخصص مواجه است، یا در رشته‌های نسبتاً نوظهور نتوان به راحتی با جذب هیئت علمی فعال در آن زمینه با پیشینه تحصیلی متفاوت اقدام کرد. بدیهی است با اصلاح این قبیل قوانین و مقررات محدودکننده می‌توان با جذب متخصصان کنترل با پیشینه تحصیلی غیر از مهندسی شیمی، و توسعه همکاری‌های میان‌رشته‌ای در دانشکده/گروه مهندسی شیمی به سرعت نسبت به رفع خلأهای موجود آموزشی و پژوهشی در جهت ارتقای سطح ارائه این گرایش منطبق با استانداردهای دانشگاه‌های معتبر بین‌المللی اقدام کرد. در همین راستا و در تأیید کارآمدی این سیاست و به عنوان یک نمونه می‌توان به راهبرد دانشگاه علوم و فناوری نروژ<sup>۱</sup> اشاره کرد که برای تقویت همکاری‌های میان‌رشته‌ای در حوزه مهندسی نفت و حوزه‌های مرتبط با مهندسی کنترل و علوم دیجیتال طی یک فراخوان عمومی در آوریل ۲۰۱۸ نسبت به جذب ۴۰ دانشجوی دکتری و محقق پسادکتری جهت فعالیت در پروژه‌های میان‌رشته‌ای تعریف شده توسط صنعت نفت و گاز نروژ و با تمرکز بر روی موضوعاتی نظیر کلان داده، فناوری‌های کنترل خودکار، هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، رباتیک، بهینه‌سازی مدل مبنا و داده‌مبنا، شناسایی و تخمین، برنامه‌نویسی تصادفی، و امنیت سایبری اقدام کرده است (وبگاه مشاغل کشور نروژ، ۲۰۱۸).

نکته دیگری که لازم است به آن اشاره شود این است که بسیاری از درس‌های کلیدی و اساسی مرتبط با مهندسی «کنترل فرایند» اکنون در گروه‌ها/دانشکده‌های مهندسی شیمی اکثر دانشگاه‌های داخلی بررسی شده تدریس نمی‌شوند. به بیان دیگر، یا اصولاً این درس‌ها جز واحدهای درسی ارائه شده در آن دانشکده‌ها نیست یا مدرسی برای تدریس آن در دانشکده‌های مورد نظر وجود نداشته است. از طرفی هم دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته مهندسی شیمی عمدتاً تمایلی ندارند که نسبت به اخذ درس‌های مرتبط با حوزه کنترل در سایر دانشکده‌ها (مانند دانشکده مهندسی برق یا دانشکده مهندسی مکانیک) اقدام کنند. شایان ذکر است که یکی از مواردی که باعث تمایز سطح توجه به گرایش «کنترل فرایند» در دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی شریف در مقایسه با سایر دانشگاه‌های داخلی شده است، اختصاص یک گروه کاملاً جداگانه با عنوان گروه «کنترل و

---

1. Norwegian University of Science and Technology (NTNU)

شبیه‌سازی» به این تخصص است. این امر این امکان را فراهم می‌آورد که بتوان به نحو بهتری نسبت به ارائه درس‌های کنترلی مرتبط برای دانشجویان اقدام کرده و ضمناً دانشجویان موظف خواهند بود که حتماً یکسری از درس‌های مرتبط با این حوزه را در طی دوران تحصیل خود اخذ کنند. با این حال، در سایر دانشگاه‌ها توجه به مباحث کنترلی در این حد نیست و دانشجویانی که در قالب گرایش «مدل‌سازی، شبیه‌سازی و کنترل» در مقطع تحصیلات تکمیلی جذب می‌شوند یا در شاخه «طراحی فرایندها» مشغول به فعالیت خواهند شد، عمدتاً تمایلی به درگیر شدن به‌طور مستقیم در موضوعات کنترلی ندارند. به بیان دیگر، در موضوعات مرتبط با حوزه «مهندسی کنترل» ضروری است که علاوه بر طراحی کنترل‌کننده، بحث‌های تحلیلی نیز مورد توجه قرار گرفته و مواردی نظیر اثبات پایداری، حد قوام کنترل‌کننده و مسائلی از این دست که از لحاظ دانش ریاضی پیچیدگی‌های خاص را دارند، به‌دقت مورد ارزیابی واقع شوند. به‌عبارت‌دیگر، می‌توان اذعان داشت که متأسفانه در اغلب مواقع بحث‌های تحلیلی عمدتاً در مطالعات صورت‌گرفته توسط دانشجویان دانشکده مهندسی شیمی علاقه‌مند به فعالیت در حوزه «کنترل فرایند» مغفول می‌ماند.

در حالی که پایه اصلی مهندسی کنترل در اثبات و به‌کارگیری قضایا و راه‌های مختلف نهفته بوده و مسلماً هنگامی که این قضایا با مباحث کاربردی در حوزه فرایندهای شیمیایی ترکیب می‌شوند، از حالت صرفاً نظری خارج گشته و جذابیت‌های مهندسی مربوط به آن به‌مراتب بیشتر خواهد شد. لذا انتظار این است که به نحو مقتضی برای دانشجویان مهندسی شیمی دانشگاه‌های داخلی تبیین شود که بسیاری از نظریه‌پردازان و پیش‌تازان حوزه مهندسی کنترل در سطح بین‌المللی، در دانشکده‌های مهندسی شیمی مشغول به فعالیت بوده و ضروری خواهد بود که مباحث نظری مربوط به مهندسی کنترل فرایندها در سطح دانشکده‌های مهندسی شیمی داخل کشور بیشتر مورد توجه قرار گیرند. در همین راستا لازم به توضیح است که اصولاً ریاضیات موردنیاز برای انجام تحلیل‌های لازم در حوزه مهندسی کنترل با ریاضیات رایجی، که عموماً در قالب روش‌های حل عددی به دانشجویان رشته مهندسی شیمی تدریس می‌شود، کاملاً فرق داشته و ضروری است که دانشجویان علاقه‌مند به فعالیت در حوزه «کنترل فرایند» به مباحث مرتبط با «جبر خطی» کاملاً مسلط باشند. به‌عبارت‌دیگر، پایه اصلی اثبات اکثر قضایا و راه‌های کلیدی موردنیاز در رشته مهندسی کنترل «جبر خطی» و «هندسه تحلیلی» بوده و این امر ایجاب می‌کند که دانشجویان گرایش «کنترل فرایند» نیز به نحوی با سرفصل‌های کلیدی این موضوعات آشنا شده تا هراسی از مواجهه با این قبیل مسائل کاربردی نداشته باشند. با این توضیحات ضروری خواهد بود که در ابتدا در قالب درس‌های پیش‌نیاز نسبت به جبران خلأهای علمی دانشجویان تحصیلات تکمیلی علاقه‌مند به فعالیت در این زمینه اقدام لازم صورت

گرفته و سپس سایر درس‌های طراحی شده برای این گرایش در قالب دروس اجباری و اختیاری به دانشجویان جذب‌شده در این گرایش خاص تدریس شود. با پیگیری این سیاست می‌توان امید داشت که جایگاه مباحث کنترل فرایندی، از حالت یک موضوع جانبی که عموماً به دلیل پیچیدگی مباحث ریاضی مرتبط با آن اقبالی از سمت اکثر دانشجویان رشته مهندسی شیمی به آن نیست به مرور زمان خارج گشته و به‌عنوان یک موضوع مهم و کلیدی در کنار مباحث طراحی فرایند، مدل‌سازی و شبیه‌سازی مورد استقبال و توجه دانشجویان قرار خواهد گرفت.

یک قدم اساسی دیگر در راستای ارتقای شرایط فعلی دانشگاه‌های فعال در این زمینه این است که امکانات لازم چه از لحاظ واحدهای آموزشی و چه از لحاظ محیط‌های شبیه‌سازی معتبر و نیز فرایندهای مورد استفاده برای شبیه‌سازی با الگوبرداری از چند دانشگاه معتبر دنیا، که پیش‌تاز در حوزه «کنترل فرایند» هستند، مورد بررسی دقیق قرار گرفته و دانشگاه‌های داخلی ارائه‌دهنده این گرایش مکلف گردند که نسبت به تهیه فهرست حداقلی از امکانات ضروری اقدام کنند تا دانشجویان مقاطع مختلف تحصیلی به‌ویژه دانشجویان تحصیلات تکمیلی علاوه بر انجام آزمایش‌های اولیه و پایه قادر باشند کاربری مباحث پیشرفته کنترلی در حوزه صنعت را از نزدیک لمس کرده و پس از ورود به صنایع مختلف و حساس کشور، دانش کاربردی آنها از سطح صرفاً تنظیم پارامترهای کنترل‌کننده‌های مرسوم و سنتی مانند کنترل‌کننده‌های پی‌آی‌دی<sup>۱</sup> فراتر رود.

از دیگر مسائلی که نیاز است به آن به‌طور ویژه و خاص توجه شود و راهکاری عملی برای مواجهه با چالش مربوطه ارائه شود، بحث ارتقای فرهنگ کارگروهی بین استادان دانشکده‌های مختلف یک دانشگاه است. طبق بررسی‌های صورت‌گرفته در هنگام تدوین مقاله حاضر تمامی اعضای هیئت‌علمی، که به‌طور مستقیم مورد پرسش قرار گرفتند، به‌صراحت به این امر اذعان داشتند که هیچ قرارداد مشخصی برای همکاری نظام‌مند بین یک عضو هیئت‌علمی دانشکده مهندسی شیمی و یک عضو هیئت‌علمی دانشکده مهندسی برق یا دانشکده مهندسی مکانیک وجود ندارد. به‌عبارت‌دیگر، در بحث تعریف پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد، رساله‌های دکتری، پروژه‌های پژوهشی و صنعتی و مواردی از این دست، که ماهیت میان‌رشته‌ای داشته و قابلیت شکل‌گیری یک همکاری هم‌افزای میان‌رشته‌ای بین دانشکده‌های مختلف وجود دارد، متأسفانه در اغلب موارد این امر تحقق نیافته و فعالیت‌های علمی به‌صورت کاملاً جزیره‌ای و جدا از هم صورت می‌پذیرد. این امر سبب خواهد شد که نتوان از فواید ناشی از ترکیب علوم مختلف مهندسی به‌صورت هدفمند بهره برد و اندک اعضای هیئت‌علمی نیز که علی‌رغم مشکلات فراوان، تمایل به گسترش این‌گونه ارتباطات دارند، فقط به‌واسطه روحیات شخصی و

---

1. PID

خصوصیات درونی به این مهم اهتمام می‌ورزند. در همین راستا و باتوجه به ماهیت میان‌رشته‌ای شاخه مهندسی کنترل، یک راهکار عملی برای کاهش لختی<sup>۱</sup> موجود جهت برقراری این‌گونه ارتباطات مؤثر و مثبت و در ادامه تعریف پروژه‌های مشترک با استفاده از ظرفیت دانشکده‌های مختلف، تأسیس و راه‌اندازی یک «مرکز مستقل آموزشی/پژوهشی حوزه مهندسی کنترل و هوش مصنوعی» در سطح دانشگاه‌های داخلی است. بدین نحو که استادان و اعضای هیئت‌علمی دانشکده‌های مختلف که در زمینه مهندسی کنترل، هوش مصنوعی و کاربردهای آن در رشته‌های گوناگون به‌طور مستقل فعالیت می‌کنند، این امکان را داشته باشند که در قالب و چارچوب اساسنامه تعریف‌شده در آن مرکز به فعالیت آموزشی و پژوهشی بپردازند و در حوزه‌های میان‌رشته‌ای فارغ از دیوان‌سالاری اداری موجود و قراردادهای سنتی عمدتاً محدودیت‌زا بتوانند به‌آسانی نسبت به تعریف پروژه و هدایت دانشجویان علاقه‌مند به فعالیت در این حوزه با استفاده از ظرفیت‌های چند عضو هیئت‌علمی مرتبط با موضوع پروژه اقدام کنند. این مرکز این قابلیت را هم خواهد داشت که بر مبنای ماهیت فعالیت بین‌رشته‌ای ضمن برقراری ارتباط کاری با صنایع مختلف نظیر صنایع نفت، گاز و پتروشیمی، صنایع نیروگاهی، صنایع خودروسازی و به بیان دیگر تمام صنایع فرایندی و غیر فرایندی، که به نحوی از بهره‌برداران و مشتریان حوزه کنترل هستند، نسبت به برگزاری دوره‌های مختلف آموزشی برای کارشناسان آن مراکز در حوزه مهندسی کنترل، خودکارسازی و ابزار دقیق که در قالب آموزش «کنترل فرایند» طبقه‌بندی می‌شوند، گام بردارد. بدیهی است که این دوره‌ها می‌توانند هم شامل دوره‌های بازآموزی مهندسان مجرب صنایع فرایندی گردند و هم با سرفصل‌های متفاوت دوره‌های مربوط به آموزش بدو خدمت نیروهای جدید/تازه‌کار را پوشش دهند. همچنین با توجه به ماهیت میان‌رشته‌ای مرکز مورد اشاره به مرور زمان و با گسترش تعاملات ایجادشده بین صنایع مختلف و مرکز دانشگاهی تأسیس شده این امکان به‌وجود آمده است که ضمن شناسایی چالش‌های موجود در صنایع مختلف در حوزه مهندسی کنترل، نسبت به ارائه راه‌حل‌های مناسب و کاربردی جهت رفع مشکلات ناشناخته در قالب پروژه‌های پژوهشی اقدام کرد. استمرار این روند می‌تواند از طرفی رفع نیازهای صنعتی را با استفاده از دانش و فناوری روز دنیا به همراه داشته باشد و همچنین می‌تواند با تزریق بودجه‌ای مناسب به دانشگاه باعث تجهیز هرچه بیشتر امکانات آزمایشگاهی و تحقیقاتی در مرکز کنترل مورد اشاره شود و به تبع آن با برقراری یک بازخورد مثبت با افزایش امکانات در مرکز فوق، تمایل صنایع برای گسترش همکاری با آن مرکز افزایش خواهد یافت. همچنین با گسترش سازوکارهای مرتبط با

یادگیری و آموزش الکترونیک<sup>۱</sup> و نیز توسعه نرم افزارهای برقراری ارتباط از راه دور به راحتی این امکان فراهم است که با انعقاد یک تفاهم نامه همکاری بین مراکز آموزش عالی کشور و نیز صنایع حساس بهره مند از شبیه سازهای حرفه ای مورد استفاده در هر صنعت خاص، بتوان بدون نیاز به حضور فیزیکی در محیط های عملیاتی نسبت به تعریف پروژه های متعدد آموزشی و پژوهشی با بهره گیری از امکانات محیط های شبیه ساز موجود در صنایع مختلف اقدام نمود. البته تمام نکات فوق مستلزم این است که یک مدیریت جامع با دیدگاه کاملاً میان رشته ای در «مرکز کنترل» توضیح داده شده حاکم باشد و مدیر آن مجموعه بتواند از تمام ظرفیت های موجود در دانشکده های مختلف به نحو بهینه و به صورت حداکثری استفاده کند.

نکته نهایی اینکه ضروری است در قالب برگزاری مستمر سمینارها و دوره های آموزشی کاربردی مزایای استفاده از به کارگیری روش های نوین «کنترل فرایند» به همراه چالش های احتمالی موجود برای متخصصان صنایع مختلف تشریح شود تا به مرور زمان این باور و اطمینان در صنایع داخلی به وجود آید که گذار از رویکردهای سنتی کنترلی به سمت شیوه های پیشرفته، امری اجتناب ناپذیر است. تحقق این امر سبب خواهد شد تا زمینه ارتباط صنایع و دانشگاه های داخلی جهت حل مشکلات احتمالی موجود به صورت خودکار بیشتر شود.

همان طور که ملاحظه می شود، بخش اعظم نکات اشاره شده در این بخش با صرف زمان و انرژی نسبتاً اندک قابلیت پیاده سازی و اجرا در سطح دانشگاه ها و مراکز آموزش عالی کشور را دارند و با تحقق این موارد می توان امیدوار بود که بتوان کیفیت آموزش و پژوهش در حوزه «کنترل فرایند» را در ابعاد ملی ارتقا داد.

## ۵. بیان دستاوردها و نتیجه گیری

در مقاله حاضر سعی شد که ضمن بررسی کیفیت نحوه آموزش گرایش «کنترل فرایند» در دانشگاه های معتبر بین المللی فعال در این حوزه و نیز ارزیابی وضعیت دانشگاه های داخلی که این گرایش را ارائه می دهند، علاوه بر شفاف سازی فاصله موجود، نسبت به ارائه راهکارهای عملی جهت رفع کاستی ها به منظور تربیت نیروی انسانی متخصص و زبده اقدام شود تا به دنبال پیگیری آن سیاست، صنایع حساس کشور مانند صنایع نفت و گاز به همراه مراکز پتروشیمی و نیز نیروگاه های تولید انرژی بتوانند از مزایای در اختیار داشتن متخصصان مجهز به دانش روز دنیا در حوزه «کنترل فرایند» بهره مند گردند. این امر به این نتیجه منجر خواهد شد که با به کارگیری کارشناسانی، که

۶۲ ارزیابی و مقایسه مابین کیفیت سطح آموزش «مهندسی کنترل فرایند» در ایران و کشورهای توسعه یافته ...

علاوه بر آشنایی با اصول کلی مباحث فرایندی، از تسلط کافی به دانش روز کنترل برخوردار هستند، بتوان ضمن تحلیل دقیق عملکرد حلقه‌های کنترلی مختلف در صنایع گوناگون، راهکارهای لازم برای بهینه‌سازی فرایندهای پیچیده را استخراج نموده و با اعمال آن روش‌ها، کاهش مصرف انرژی، کاهش انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی، افزایش کمیت و کیفیت محصولات تولیدشده و به‌طور کلی ارتقای سطح بهره‌وری در کل مجموعه تحت مطالعه را تضمین کرد.

در پایان دستاوردهای این پژوهش را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

- شناسایی میزان توجه و تبیین جایگاه گرایش «کنترل فرایند» در کشورهای توسعه‌یافته؛
- شناسایی امکانات شناسناسایی امکانات آموزشی و پژوهشی لازم جهت تربیت متخصصان کارآمد فعال در حوزه «کنترل فرایند» در کشورهای توسعه‌یافته؛
- شناسایی توانمندی‌های دانشگاهی و صنعتی یک دانش‌آموخته دوره تحصیلات تکمیلی گرایش «کنترل فرایند» در کشورهای توسعه‌یافته؛
- شناسایی سطح آموزش و پژوهش در حوزه «کنترل فرایند» در دانشگاه‌های داخلی فعال در این زمینه و طبقه‌بندی دانشگاه‌های موردنظر برحسب نقاط ضعف و قوت هر یک از آنها؛
- استخراج پیشنهادات کاربردی و ارائه راهکارهای عملی جهت ارتقای سطح آموزش و پژوهش گرایش «کنترل فرایند» در مراکز آموزش عالی کشور منطبق با استانداردهای آموزشی کشورهای توسعه‌یافته.

## مراجع

بزرگمهری، رامین و شاهرخی، محمد (۱۳۸۳). تجدیدنظر و به‌روز کردن سرفصل مطالب درس کنترل فرایندها در برنامه مهندسی شیمی جهت پاسخگویی به نیازهای صنایع شیمیایی، *فصلنامه آموزش مهندسی/ایران*، ۶ (۲۱)، ۷۹-۸۹.

پنجه‌شاهی، محمدحسن (۱۳۷۹). مهندسی شیمی و انرژی، *فصلنامه آموزش مهندسی/ایران*، ۲ (۸)، ۵۵-۷۰.  
خاکی صدیق، علی (۱۳۹۳). مروری بر روند تحلیل و طراحی سیستم‌های کنترل: وضعیت کنونی و آینده، *فصلنامه آموزش مهندسی/ایران*، ۱۶ (۶۲)، ۳۱-۴۶.

دفترچه راهنمای انتخاب رشته آزمون ورودی تحصیلات تکمیلی (کارشناسی ارشد) (۱۳۹۴ تا ۱۳۹۷). سازمان سنجش آموزش کشور.

راهنمای انتخاب رشته‌های تحصیلی آزمون ورودی دوره دکتری (نیمه‌متمرکز) (۱۳۹۴ تا ۱۳۹۷). سازمان سنجش آموزش کشور.

- رحیمی، امیر و آقامیری، سیدفؤاد (۱۳۸۴). لزوم بازنگری برنامه‌های آموزشی دوره کارشناسی رشته مهندسی شیمی متناسب با نیازهای صنعت، فصلنامه آموزش مهندسی ایران، ۷ (۲۸)، ۱۳-۲۷.
- ستوده قره‌باغ، رحمت (۱۳۸۱). تکنولوژی اطلاعات و کاربرد آن در مهندسی شیمی، فصلنامه آموزش مهندسی ایران، ۴ (۱۴)، ۱-۲۶.
- شعبانی‌نیا، فریدون و شفیعی، محمدحسین (۱۳۸۱). طرح یک نظام آزمایشگاهی هماهنگ برای آشنایی دانشجویان دانشگاه‌های ایران با روش‌های کنترل هوشمند، فصلنامه آموزش مهندسی ایران، ۴ (۱۶)، ۸۹-۱۰۱.
- صفوی، سیدعلی‌اکبر؛ صالحی، صبا؛ معتمدی، مهسا؛ کیخا، احسان؛ نقوی، سیدوحید و غفاری، حسین (۱۳۸۶). اولین آزمایشگاه مجازی و از راه دور ایران برای مهندسان کنترل: طراحی و اجرا، فصلنامه آموزش مهندسی ایران، ۹ (۳۴)، ۵۷-۷۶.
- طاهری، منصور و رحیمی، امیر (۱۳۸۳). اولویت‌های اساسی در تغییر ساختار آموزش مهندسی شیمی در ایران، فصلنامه آموزش مهندسی ایران، ۲ (۲۱)، ۷-۱۵.
- گنجی‌زاده، اردلان؛ وحیدی، امید و اشرفی‌زاده، سیدنظام‌الدین (۱۳۹۶الف). زیست‌شناسی رکن جدید در مهندسی شیمی گذار از «مهندسی شیمی» به «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی» بخش ۱: ضرورت، محتوای آموزشی و مباحث پژوهشی، فصلنامه آموزش مهندسی ایران، ۱۹ (۷۴)، ۱-۲۲.
- گنجی‌زاده، اردلان؛ وحیدی، امید و اشرفی‌زاده، سیدنظام‌الدین (۱۳۹۶ب). زیست‌شناسی رکن جدید در مهندسی شیمی گذار از «مهندسی شیمی» به «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی» بخش ۲: آموزش، تحویلات تکمیلی و موقعیت صنعتی، فصلنامه آموزش مهندسی ایران، ۱۹ (۷۵)، ۱-۲۱.
- گودرزنیاز، ایرج (۱۳۷۸). پیدایش آموزش مهندسی شیمی در ایران و روند تغییرات برنامه آموزش آن، فصلنامه آموزش مهندسی ایران، ۱ (۴)، ۶۹-۹۸.
- معصومی‌گودرزی، ساغر؛ ستوده قره‌باغ، رحمت و گرجی‌کندی، سهیلا (۱۳۹۰). ارائه راه‌کارهای برای بهبود برنامه آموزشی رشته مهندسی شیمی در ایران، فصلنامه آموزش مهندسی ایران، ۱۳ (۵۱)، ۷۵-۹۱.
- نیک افروز، نگین و آزادی یزدی، احسان (۱۳۹۴). استفاده از بسته نرم‌افزاری در آموزش درس کنترل خودکار، فصلنامه آموزش مهندسی ایران، ۱۷ (۶۸)، ۶۹-۸۸.
- واشقانی‌فراهانی، ابراهیم (۱۳۷۹). آموزش و پژوهش مهندسی شیمی، فصلنامه آموزش مهندسی ایران، ۲ (۸)، ۱۵-۲۷.
- وبگاه اسکوپوس (۲۰۱۸). <http://www.scopus.com>.
- وبگاه دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه تهران (۱۳۹۷). <http://cheeng.ut.ac.ir>.
- وبگاه دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۹۷). <http://che.iut.ac.ir>.
- وبگاه دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر (۱۳۹۷). <http://chemeng.aut.ac.ir>.
- وبگاه دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز دانشگاه شیراز (۱۳۹۷). <http://shirazu.ac.ir/cpe>.
- وبگاه دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز دانشگاه علم و صنعت (۱۳۹۷). [http://chem\\_eng.iust.ac.ir](http://chem_eng.iust.ac.ir).
- وبگاه دانشکده مهندسی شیمی و نفت دانشگاه صنعتی شریف (۱۳۹۷). <http://che.sharif.edu>.

۶۴ ارزیابی و مقایسه مابین کیفیت سطح آموزش «مهندسی کنترل فرایند» در ایران و کشورهای توسعه یافته ...


- وبگاه گروه ابزار دقیق و اتوماسیون دانشگاه صنعت نفت (۱۳۹۷). <http://put.a.c.ir>
- وبگاه گروه مهندسی شیمی دانشگاه سیستان و بلوچستان (۱۳۹۷). <http://www.usb.ac.ir>
- وبگاه گروه مهندسی شیمی دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۹۷). <https://che.um.ac.ir>
- وبگاه گروه مهندسی شیمی دانشگاه گیلان (۱۳۹۷). <http://guilan.ac.ir/engineering>
- وبگاه گوگل اسکالر (۲۰۱۸). <http://www.google.com>
- وبگاه مشاغل کشور نروژ (۲۰۱۸). <http://www.jobbnorge.no>
- هورفر، فرزاد؛ زارع مهرجردی، مجتبی؛ مشیری، بهزاد و سلحشور، کریم (۱۳۹۴). ارزیابی وضعیت آموزشی مهندسی کنترل فرایند در کشورهای پیشرفته و تدوین نقشه راه کشور به منظور ارتقای سطح آموزش‌های کاربردی در آن حوزه با توجه به الگوبرداری صورت گرفته، اولین کنفرانس بین‌المللی و چهارمین کنفرانس ملی آموزش مهندسی (با تکیه بر فن‌آوری‌های نوین یادگیری) (ICEEI2015)، ۱۹ الی ۲۱ آبانماه ۱۳۹۴، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
- یزدان پناه، محمد جواد؛ یغمایی، ابوالفضل؛ آگاهی، حامد؛ منتصری، غزل؛ طباطبایی، سید سپهرالدین و وفایی، آلاله (۱۳۹۳). افق‌های نو در مهندسی کنترل، فصلنامه آموزش مهندسی ایران، ۱۶ (۶۲)، ۱-۳۰.
- Accomplishments and prospects of control. (2012). Retrieved from <http://www.ieeeccs-oll.org/lecture/accomplishments-and-prospectscontrol/>.
- Al Khuffash, K.; Hatakka, M. and Lamont, L.A. (2013). Process control education for future electrical engineering in the oil and gas industry, *9th International Symposium on Mechatronics and its Applications (ISMA13)*, Amman, Jordan, 1-4.
- Beloiu, R. (2013). A practical approach for an introductory control engineering course, *IEEE International Conference on Electrical and Artificial Intelligence*, 1-4.
- Edgar, T. F.; Ogunnaike, B. K. and Muske, K. R. (2006). A global view of graduate process control education, *Computers and Chemical Engineering*, 30: 1763–1774.
- Frontiers in Chemical Engineering Education. (2006). Massachusetts Institute of Technology, Retrieved from <http://web.mit.edu/che-curriculum/>.
- Jwaid, A.E.; Clark, S. and Ireson, G. (2014). Understanding best practices in control engineering education using the concept of TPACK, *4th IEEE Integrated STEM Education Conference*, Princeton, N. J., 1-6.
- Manca, D.; Nazir, S. and Colombo, S. (2012). Performance Indicators for Training Assessment of Control-Room Operators, *Chemical Engineering Transactions*, 26: 285-290.
- Marcano, L. and Komulainen, T. (2016). Constructive assessment method for simulator training, *The 9th Eurosim Congress on Modeling and Simulation*, Oulu, Finland.
- Mendes, M. J. G. C, Martins, L. (2014). An internet remote laboratory to teach industrial automation, *7th IEEE International Conference on Human Systems Interactions (HSI)*, 144-149.
- Postlethwaite, B. (2016). The use of simulation in chemical process control learning and the development of PISim, in *American Control Conference*, 7328–7333.
- Vasquez, R. E.; Posada, N. L.; Castrillon, F. and Giraldo, D. (2014). Development of a laboratory equipment for dynamic systems and process control education, *ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Montreal, Canada.



	<p><b>فرزاد هورفر</b> مدرک دکترای خود را در رشته مهندسی برق - گرایش کنترل از پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران اخذ کرده‌اند. ضمناً ایشان دوره کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی ابزار دقیق و اتوماسیون در دانشکده نفت تهران، دانشگاه صنعت نفت و مقطع کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق - گرایش قدرت در پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران به پایان رسانده‌اند. زمینه فعالیت نامبرده در حوزه‌هایی نظیر اتوماسیون و ابزار دقیق صنایع فرآیندی، کنترل فرآیندهای شیمیایی، بهینه سازی و کنترل تولید از مخازن هیدروکربنی است. در حال حاضر ایشان به‌عنوان همکار پژوهشی در آزمایشگاه «اتوماسیون صنعتی و پردازش هوشمند اطلاعات» دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تهران مشغول به فعالیت هستند.</p>
---	--

	<p><b>لادن خوشنویسان</b> به دریافت درجه کارشناسی از دانشگاه علم و صنعت ایران در سال ۱۳۸۷، <b>کارشناسی</b> ارشد و دکتری به ترتیب از دانشگاه تربیت مدرس و دانشگاه تهران در سال ۱۳۸۹ و ۱۳۹۶، هر سه در رشته مهندسی برق گرایش کنترل نائل آمده‌اند. ایشان همچنین به مدت یک سال در دانشکده ریاضی کاربردی دانشگاه واترلوی کانادا مشغول به فعالیت پژوهشی بوده‌اند. از جمله زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان می‌توان به سیستم‌های کنترل مقاوم و تطبیقی، کنترل ازدحام و جریان در شبکه‌های ارتباطی، پدیده دوشاخگی و تحلیل سیستم، کنترل و تحلیل سیستم‌های خطی و غیرخطی، تشخیص و جداسازی عیب، و نیز کنترل تحمل‌پذیر عیب اشاره کرد.</p>
---	---

	<p><b>بهزاد مشیری</b> مدرک دکترای خود را در زمینه سیستم‌های کنترل از دانشگاه منچستر (UMIST) کشور انگلستان اخذ کرده‌اند. ایشان از سال ۱۳۷۰ فعالیت خود را به‌عنوان عضو هیأت علمی در دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تهران آغاز نموده و هم‌اکنون نیز به‌عنوان استاد تمام در گروه کنترل آن دانشکده و نیز عضو ارشد قطب علمی «کنترل و پردازش هوشمند اطلاعات» مشغول به فعالیت هستند. برخی از زمینه‌های پژوهشی و آموزشی نامبرده مرتبط با کنترل سیستم‌های صنعتی، نظریه ترکیب اطلاعات، هوش ماشینی و پردازش هوشمند اطلاعات است.</p>
---	--

	<p><b>مجتبی زارع مهرجردی</b> مدارک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی برق - گرایش کنترل از دانشگاه صنعتی شاهرود و دانشگاه تهران اخذ کرده‌اند. ایشان هم‌اکنون به‌عنوان کارشناس تحلیل اقتصادی در صندوق نوآوری و شکوفایی ریاست جمهوری مشغول به فعالیت هستند.</p>
--	---

	<p><b>کریم سلحشورمدرک</b> دکترای خود را در حوزه سیستم‌های کنترل از دانشگاه منچستر (UMIST) کشور انگلستان و مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق - گرایش الکترونیک از مؤسسه فناوری آبدان (AIT) اخذ کرده‌اند. در حال حاضر ایشان به‌عنوان عضو هیأت علمی گروه ابزار دقیق و اتوماسیون دانشگاه صنعت نفت مشغول به فعالیت آموزشی و پژوهشی هستند.</p>
---	--



**عسگر هورفر** مدرک کارشناسی ارشد پیوسته خود را در سال ۱۳۳۷ در رشته **مهندسی شیمی** از دانشکده فنی دانشگاه تهران اخذ کرده و در همان سال به عنوان عضو هیأت علمی به استخدام گروه مهندسی شیمی دانشکده فنی دانشگاه تهران در آمدند. ضمناً ایشان دوره دکترای خود را در رشته شیمی در مدرسه عالی شیمی پاریس (Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Paris-ENSCP) واقع در کشور فرانسه در سال ۱۳۴۷ به پایان رسانده و پس از بازگشت به ایران به درجه علمی دانشیاری، و نهایتاً استاد تمامی نایل آمدند. نامبرده تا سال ۱۳۸۳ به صورت مستمر به فعالیت آموزشی در حوزه های مرتبط با مهندسی شیمی در گروه مهندسی علوم پایه و گروه مهندسی شیمی دانشکده فنی دانشگاه تهران و نیز سایر دانشگاه ها و مراکز صنعتی کشور اهتمام ورزیده و پس از بازنشستگی نیز فعالیت های پژوهشی خود را در این زمینه ادامه داده اند.