فصلنامه آموزش مهندسی ایران، سال هفدهم، شماره ۶۸، زمستان ۱۳۹۴، صص. ۸۸- ۶۹

استفاده از بستهٔ نرم‌افزاری در آموزش درس کنترل خودکار

نگین نیک‌افروز [۱] و احسان آزادی یزدی [۲]

چکیده: امروزه کاربرد مهندسی کنترل مخصوص به دسته‌ای خاص از رشته‌ها نیست و گسترهٔ وسیعی از مسائل روزمره را دربرمی‌گیرد. بنابراین درس کنترل خودکار به‌عنوان یک درس سه‌واحدی در بسیاری از رشته‌های مهندسی ارائه می‌شود. دسترسی نداشتن به اهداف آموزشی درس کنترل خودکار علاوه بر زیانهای کوتاه‌مدت آموزشی مذکور، باعث کاهش توانایی دانش‌آموختگان در بازار کار خواهد شد. در این مقاله روشی نوین بر مبنای نرم‌افزار متلب برای ارتقای کیفیت برنامهٔ آموزشی درس کنترل خودکار ارائه شده است. ازآنجاکه دانشجویان تمایل زیادی به استفاده از محیط برنامه‌نویسی متنی ندارند، بستهٔ نرم‌افزاری مذکور محیطی گرافیکی دارد. برای بررسی میزان تأثیر نرم‌افزار بر روی کیفیت آموزش درس کنترل خودکار از روش توصیفی ـ پیمایشی استفاده شده است. نتایج این پژوهش بیانگر تأثیر قابل‌توجه پیاده‌سازی این روش در راستای افزایش کیفیت آموزشی درس کنترل خودکار در رشته‌های مهندسی است.

واژه‌های کلیدی: آموزش الکترونیک، نرم‌افزار آموزشی، کنترل خودکار، کیفیت آموزش، نرم‌افزار متلب

---

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران.negin.nikafrooz@ut.ac.ir

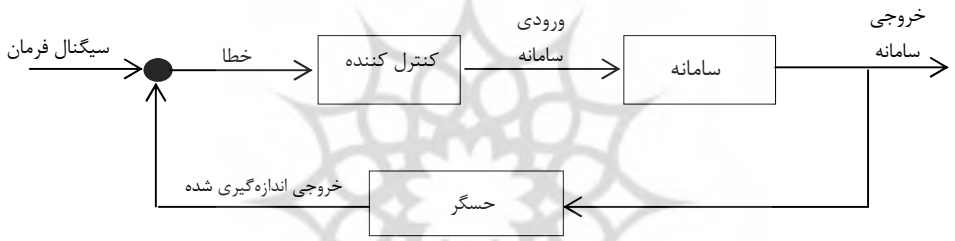
۲. استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. (نویسنده مسئول)..ehsanazadi@shirazu.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۷/۱۸)

(پذیرش مقاله: ۷/۱۱ /۱۳۹۴)

۱. مقدمه

کنترل شاخه‌ای میان‌رشته‌ای از علوم مهندسی و ریاضیات است که به بررسی رفتار سامانه‌های دینامیکی می‌پردازد. در سامانه‌های کنترلی هنگامی که قرار است یک یا چند خروجی سامانه فرمان مرجعی را در بازهٔ زمان دنبال کنند، یک کنترل‌کننده (جبران‌ساز افزوده‌شده به سامانهٔ اولیه)، ورودی سامانه را به‌گونه‌ای دست‌کاری می‌کند تا تغییرات مناسب در خروجی سامانه پدید آید و رفتار سامانه به رفتار مطلوب کاربر نزدیک شود[۱]. برای دستیابی به این هدف کنترل‌کننده عموماً مطابق شماتیک نشان داده شده در شکل ۱ در یک حلقه قرار داده می‌شود. مفاهیم و روشهای ارائه‌شده در درس سامانه‌های کنترل خطی برای نیل به هدف بالا تنظیم شده‌اند.



شکل ۱: شماتیک حلقهٔ کنترلی

درس سیستمهای کنترل خطی به‌عنوان یک درس سه‌واحدی در بسیاری از رشته‌های مهندسی ارائه می‌شود. این درس برای رشته‌های مهندسی مکانیک، مهندسی برق، مهندسی کامپیوتر، مهندسی شیمی، مهندسی نفت، مهندسی رباتیک، و مهندسی صنایع شیمیایی معدن جزء دروس اصلی و برای رشته‌هایی از جمله مهندسی هسته‌ای، مهندسی پزشکی، مهندسی پرتو پزشکی، مهندسی متالورژی مواد، و... جزء دروس تخصصی محسوب می‌شود.

پیرو بودجه‌بندی شورای برنامه‌ریزی آموزش عالی، اهداف آموزشی درس کنترل خودکار به شرح زیر است:

- تعریف و طبقه‌بندی سیستمهای دینامیکی، مدل‌سازی ریاضی سیستمها، دیاگرامهای بلوکی، کلیاتی دربارهٔ بازخورد و اثرات آن؛
- پاسخ زمانی سیستمها، مشخصات حال گذرا و ماندگار، بررسی اثر کنترل‌کننده‌ها بر مشخصات حالت گذرا و ماندگار سیستم؛

- پایداری؛ روش روث هورویتس[1]؛
- روش مکان هندسی ریشه‌ها[2]؛
- پاسخ فرکانسی سیستمها، روشهای نمایش پاسخ فرکانسی، روش نایکوئیست؛
- تنظیم کنترل‌کننده‌ها و طراحی جبران‌کننده‌ها برای بهبود کارآیی سیستمهای کنترل.

امروزه کاربرد کنترل مخصوص به دسته‌ای خاص از رشته‌ها نیست و گسترهٔ وسیعی از مسائل روزمره را دربرگیرد. ازاین‌رو توجه به آن در بسیاری رشته‌های دانشگاهی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. جدول ۱ فهرست دروس پیش‌نیاز و وابسته به درس کنترل خودکار را برای برخی رشته‌های مهندسی نمایش می‌دهد. علاوه بر رشته‌های بیان‌شده، ابزار و روشهای کنترلی، که ابتدا در مهندسی و ریاضیات توسعه داده شدند، به‌مرور کاربردهای نوینی در عرصه‌های مختلف علوم انسانی از جمله در زمینه‌هایی نظیر اقتصاد و جامعه‌شناسی پیدا کرده‌اند[۳،۲ و ۴].

جدول ۱: فهرست دروس پیش‌نیاز و وابسته به درس کنترل خودکار در برخی رشته‌های مهندسی

رشته	دروس پیش‌نیاز	دروس وابسته
مهندسی برق	۱. مدارهای الکتریکی۲ ۲. سیگنالها و سیستمها	۱. آزمایشگاه سیستمهای کنترل خطی ۲. سیستمهای کنترل مدرن ۳. ابزار دقیق ۴. کنترل صنعتی ۵. سیستمهای کنترل دیجیتال ۶. سیستمهای کنترل غیرخطی ۷. مبانی مکاترونیک
مهندسی رباتیک	تجزیه‌وتحلیل سیستمها	۱. آزمایشگاه سیستمهای کنترل خطی ۲. رباتیک ۳. کنترل مدرن
مهندسی شیمی	عملیات واحد ۱	۱. کنترل فرایند۲ ۲. آزمایشگاه کنترل فرایندها ۳. پروژه
مهندسی صنایع شیمیایی معدنی	عملیات واحد ۱	آزمایشگاه کنترل
مهندسی کامپیوتر	۱. مدارهای الکتریکی[2]	ــــــــــــــــ

1. Routh Hurwitz
2. Root Locus

	۲. سیگنالها و سیستمها	
مهندسی مکانیک	ارتعاشات مکانیکی	۱. سیستمهای هیدرولیک و نیوماتیک ۲. شبیه‌سازی سیستمهای دینامیکی و کنترلی ۳. مقدمه‌ای بر مکاترونیک ۴. سیستمهای کنترل صنعتی ۵. مقدمه‌ای بر کنترل فازی و محاسبات نرم ۶. مبانی دینامیک خودرو ۷. مقدمه‌ای بر پردازش سیگنال
مهندسی نفت	مکانیک سیالات	_____
مهندسی هسته‌ای	۱. ریاضی مهندسی ۲. جبر خطی	_____
مهندسی پزشکی	تجزیه وتحلیل سیگنالها و سیستمها	۱. آزمایشگاه سیستمهای کنترل خطی ۲. کنترل دیجیتال
مهندسی پرتوپزشکی	۱. ریاضی مهندسی ۲. جبر خطی	_____
مهندسی متالوژی مواد	ریاضی مهندسی	_____

همان‌گونه که در جدول ۱ نشان داده شد، درس کنترل خودکار در سرفصل بسیاری از رشته‌های مهندسی از اهمیت کلیدی برخوردار است. این اهمیت در معرفی این درس به‌عنوان پیش‌نیاز برخی از دروس اختصاصی به‌خصوص در رشته‌های مهندسی مکانیک و برق خود را نشان می‌دهد. بنابراین دسترسی نداشتن به اهداف آموزشی درس کنترل خودکار و اشراف نداشتن دانشجویان بر مفاهیم ارائه‌شده در این درس نه‌تنها باعث افت کیفیت آموزش همان دروس می‌شود بلکه بر توانایی دانشجویان در فهم بسیاری از مطالب دروس پایین‌دستی مرتبط نیز تأثیر می‌گذارد.

از سوی دیگر نبود دستیابی به اهداف آموزشی درس کنترل خودکار علاوه بر زیانهای کوتاه‌مدت آموزشی یادشده، باعث کاهش توانایی دانش‌آموختگان در بازار کار مرتبط با مهندسی کنترل نیز خواهد شد. دانش‌آموختگان مهندسی، که دانش مطلوب از کنترل خودکار نداشته باشند، توانایی رقابت را برای بعضی از موقعیتهای شغلی در صنایعی مانند انرژی، مکاترونیک، ابزار دقیق، تجهیزات پزشکی و آزمایشگاهی، و رباتیک از دست خواهند داد.

ارائهٔ شیوه‌هایی برای ارتقای کیفیت برنامهٔ آموزشی در راستای دسترسی به اهداف آن جزء برنامه‌های مستمر نهادهای آموزشی است. در این مقاله روشی نوین بر مبنای نرم‌افزار متلب برای

ارتقای کیفیت برنامهٔ آموزشی درس کنترل خودکار ارائه شده است. شیوهٔ نوین بر مبنای طراحی و تهیهٔ یک نرم‌افزار رایانه‌ای در محیط متلب[1] و استفاده از آن در کنار روش معمول آموزش این درس است. ازآنجاکه محیط نرم‌افزار همکنشی[2] است و توضیحات کاملی دربارهٔ توابع و دستورات مورد نیاز دارد، مدرس نیازی به تغییر در برنامهٔ آموزشی معمول درس نخواهد داشت. توضیحات و تمرینهای این نرم‌افزار کاملاً منطبق بر بودجه‌بندی درس کنترل تهیه شده است و دانشجو به‌موازات یادگیری درس قادر به استفاده از مطالب کمک‌آموزشی نرم‌افزار است. از طرف دیگر رابط گرافیکی طراحی‌شده برای این نرم‌افزار استفاده از آن را برای دانشجویان و مدرسان آسان می‌کند.

در ادامه ابتدا تحقیقات پیشین در زمینهٔ کارآیی نرم‌افزارهای کمک‌آموزشی و آزمایشگاههای مجازی در آموزش مهندسی به‌صورت خلاصه بیان می‌شوند. در بخش سوم ساختار نرم‌افزار طراحی‌شده و امکانات آن به شکل مختصر بیان می‌شود. این نرم‌افزار آزمایشی در اختیار دانشجویان مهندسی مکانیک دانشگاه شیراز قرار گرفت و کارآیی آن در بهبود کیفیت آموزش ارزیابی شد. روش انجام این ارزیابی و نتایج آن به‌ترتیب در بخشهای چهارم و پنجم آورده شده است. در آخر نتایج ارزیابی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

۲. مروری بر تحقیقات پیشین

ارزیابی برنامه‌های آموزشی و بررسی میزان دستیابی به اهداف آنها با در نظر گرفتن ملاکهای تازهٔ ارائه‌شده در آموزش مهندسی لازم است. ملاکهای نوین نتیجهٔ ارزشیابی برنامهٔ آموزشی را از «برنامه چه انجام می‌دهد؟» به «دانشجویان چه می‌توانند انجام دهند؟» تغییر داده است[۵]. در نتیجهٔ این تغییر دیدگاه، ارزیابی دستاوردهای دانشجویان و بازبینی مداوم برنامهٔ آموزشی در رأس فعالیتهای آموزش قرار گرفته است. باتوجه‌به ملاکهای جدید، ارزیابی عبارت است از فرایند منظم و مداوم گردآوری و تحلیل اطلاعات برای شناسایی تواناییهای کسب‌شدهٔ دانشجویان و به‌کارگیری نتایج برای ارتقای کیفیت برنامهٔ آموزشی[۵].

راهکارهای ارائه‌شده برای ارتقای کیفیت برنامهٔ آموزشی موضوع تحقیقات زیادی بوده است. این راهکارها عموماً به دو شاخهٔ تغییر محتوای برنامه و تغییر شیوهٔ اجرای برنامه دسته‌بندی می‌شود. ازآنجاکه هدف از این مقاله پژوهش پیرامون شیوهٔ اجرای برنامهٔ آموزشی درس کنترل خودکار است، از بحث پیرامون تحقیقات انجام‌شده در راستای تغییر محتوای برنامه‌های آموزشی خودداری می‌کنیم. در زمینهٔ بهبود شیوهٔ اجرای برنامه‌های آموزشی روشهایی چون استفاده از رایانه در تدریس[۶]،

---

1. Matlab
2. Interactive

استفاده از روشهای بر مبنای تعامل استاد و دانشجو[۷]، و استفاده از روشهای نوین آزمایشگاهی[۸] در تحقیقات پیشین ارائه شده‌اند.

یکی از راههای ارتقای کیفیت آموزش ارائهٔ آزمایشگاه در کنار آموزش تئوری است. در کلاسهای آزمایشگاه مقطع کارشناسی افراد به انجام آزمایش، ثبت اطلاعات حاصله، بررسی داده‌ها باتوجه‌به مفاهیم تئوری، و ارائهٔ نتایج می‌پردازند. در محیط آزمایشگاه دانشجو می‌تواند تحت نظر استاد تجارب مفیدی به دست آورد. در روشهای سنتی ارائهٔ آزمایشگاهها تعداد زیادی دستگاه و تجهیزات لازم است، که غالباً هزینه‌های زیادی بر دوش مؤسسه‌های آموزش عالی خواهد گذاشت. یک راه برای غلبه بر مشکلات و محدودیتهای آزمایشگاههای سنتی، استفاده از روشهای پیشرفته بر پایهٔ فنّاوری اطلاعات (مانند روش آزمایشگاه مجازی) برای انجام آزمایشها است. در آزمایشگاه مجازی شبیه‌سازیهایی، که بر پایهٔ مدلهای ریاضی و به کمک رایانه انجام می‌شوند، با آزمایشهای حضوری جایگزین می‌شود. امروزه از آزمایشگاههای مجازی با هدف درک بهتر مفاهیم آموزشی استفاده فراوانی می‌شود[۹].

آموزش مجازی در زمرهٔ روشهای نوین ارتقای کیفیت آموزشی به شمار می‌آید و معایب و مزایای آن در بسیاری تحقیقات مورد بررسی قرار گرفته است[۱۰ و ۱۱]. اثرات جایگزینی آزمایشگاههای مجازی با همکاریهای فیزیکی در آزمایشگاه نیز در تحقیقات زیادی بررسی شده است. تعداد زیادی از محققان بر این عقیده‌اند که استفاده از آزمایشگاههای اینترنتی نه‌تنها اثر مضرّی بر آموزش دانشجویان ندارد بلکه دانشجویان از انعطاف‌پذیری ایجادشده در این نوع آزمایشگاهها استقبال می‌کنند. نتایج[۱۲] نشان داده است که هرچند استفاده از آزمایشگاه مجازی تفاوت قابل‌توجهی در آموزش دانشجویان ایجاد نمی‌کند، اما حذف کامل آزمایشگاههای فیزیکی از برنامهٔ آموزشی برای دانشجویان خوشایند نیست.

در[۱۳] کارآیی آزمایشگاههای دانشجویان سال آخر مهندسی مکانیک در سه حالت فیزیکی، مجازی، و اینترنتی بررسی شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد دانشجویانی، که روشهای غیرحضوری (مجازی یا اینترنتی) را تجربه کرده‌اند، درک عمیق‌تری از تجزیه‌وتحلیل اطلاعات دارند. این دانشجویان توانایی تشخیص نتایج غیرمنطقی و همچنین فهم اثرات ناشی از این پاسخهای نامعقول را دارند. با این وجود دانشجویانی که از روش آزمایش مجازی استفاده می‌کنند در مقایسه با آزمایشگاههای اینترنتی(تحت وب) درک کمتری از مفاهیم اصلی را نشان می‌دهند؛ گرچه هر دو گروه فصل مشترکهایی دارند.

به این ترتیب آزمایشگاههای مجازی را می‌توان برای افزایش بازده یادگیری و طراحی استفاده کرد. در ابتدا آزمایشگاههای مجازی به‌عنوان مکمل آزمایشگاههای حضوری (عملی) استفاده می‌شد و

هدف آن آماده کردن دانشجویان برای آزمایشگاههای حضوری بوده است. نتایج[۱۴] نشان می‌دهد که دانشجو در آزمایشگاه مجازی می‌تواند نتایجی کسب کند که از طریق اتکا محض به آزمایشگاههای حضوری قابل‌دستیابی نیست. ارزشیابیهای انجام‌شده در[۱۴ و ۱۵] نشان می‌دهند که با استفاده از آزمایشگاههای مجازی دانشجویان فهم عمیقی از مطالب پیدا می‌کنند و به‌خوبی واقعیت را با نظریه‌ها آزمایش‌شده تطبیق می‌دهند. به‌علاوه بر اساس نتایج[۱۶ و ۱۷] دسته‌ای از دانشجویان، که از آزمایشگاه مجازی استفاده کرده‌اند، توانایی بهتری برای مدیریت پروژه‌های پیچیده و مهارت بیشتری برای حل مسائل به دست می‌آورند.

انعطاف‌پذیری نرم‌افزارهای کمک‌آموزشی و هزینهٔ پایین اعمال تغییرات در آنها از دیگر نقاط برتری آنها بر آزمایشگاههای حضوری است که باتوجه‌به سرعت بالای رشد علم و فنّاوری و به‌روزرسانی دائمی مطالب آموزشی اهمیت زیادی دارد[۱۵ و ۱۸].

۳. معرفی نرم‌افزار آموزشی طراحی‌شده

با پیچیده شدن سیستمهای تولیدشدهٔ دست انسان از یک طرف و همچنین هزینه‌بر بودن پیاده‌سازی عملی سیستمهای کنترلی آزمایشی از طرف دیگر، لزوم ایجاد نرم‌افزارهای طراحی و مدل‌سازی سیستمها و کنترل‌گرها احساس می‌شود. به این ترتیب، سیستمهای طراحی‌شده در مراحل ابتدایی با رایانه مدل‌سازی می‌شود و نقاط ضعف و قوت آنها مشخص شده و پیش از تولید نهایی اصلاح می‌شوند. ازاین‌رو، نرم‌افزارهای مدل‌سازی امروزه از اهمیت بسیار زیادی در فرایند طراحی کنترل‌گرها برخوردارند. در این میان نرم‌افزار متلب گوی سبقت را از سایر نرم‌افزارهای هم‌ردهٔ خود ربوده است و با عرضهٔ نرم‌افزارهای جانبی کاربردی در میان اکثریت دانشگاهیان معروف شده است. قدرت اصلی متلب در جعبه‌ابزارهای[1] خاص ـ کاربردی است که شرکت سازنده و گروههای مختلف دانشگاهی و صنعتی هرساله به آن می‌افزاید و باعث افزایش کارآیی و محبوبیت آن می‌شود.

تعداد قابل‌توجهی از جعبه‌ابزارهای موجود در نرم‌افزار متلب قابل‌استفاده در طراحی و شبیه‌سازی سیستمهای کنترلی هستند. از جمله این جعبه‌ابزارها می‌توان از Control System، Robust Control، System Identification، Neural Network، Fuzzy Logic، Model Predictive Control، Optimization، Instrument Control نام برد. با وجود توابع مفید ارائه‌شده در این جعبه‌ابزارها، برخی افراد به علت پیچیدگیهای موجود در روش برنامه‌نویسی متنی انگیزهٔ کافی برای استفاده از این

1. Toolbox

نرم‌افزار را ندارند. پیاده‌سازی سیستمهای کنترلی در متلب برای دانشجویان و افراد تازه‌کار وقت و انرژی زیادی می‌طلبد که با ایجاد یک بستر گرافیکی مناسب می‌توان آن را کاهش داد.

واسطهای گرافیکی[1] در متلب این فرصت را به ما می‌دهد که بتوانیم با کاربر ارتباط گرافیکی برقرار کنیم. واسطهای گرافیکی با اشیاء و ابزار گرافیکی متنوع مانند پنجره‌ها، نقشکها[2]، کلیدها، نوارابزارها و... بین کاربر و برنامهٔ رایانه‌ای ارتباط ایجاد می‌کند. کاربر با انتخاب یا فعال کردن این اشیاء توانایی اعمال ورودی یا تغییر در برنامه را دارد. یکی از ویژگیهای مهم واسطهای گرافیکی در متلب، سهولت استفاده از توابع مختلف موجود در جعبه‌ابزارهای آن است؛ چراکه کاربر تنها با استفاده از ابزارهای گرافیکی و بدون نیاز به رعایت قواعد پیچیدهٔ کدنویسی می‌تواند ورودیهای مختلف را به این توابع اعمال کرده و خروجی را، که از نوع متنی یا نموداری است، در همان محیط گرافیکی دریافت کند. این واسطها را می‌توان همانند جلدی زیبا و کارا برای برنامه‌های پیچیده در نظر گرفت که کاربر را قادر می‌سازد بدون درگیری با محتوای درونی برنامه با آن تعامل داشته باشد. ازاین‌رو استفاده از واسطهای گرافیکی در متلب، در پروژه‌های دانشجویی و صنعتی، روزبه‌روز در حال افزایش است.

باتوجه‌به توضیحات بالا، یک نرم‌افزار گرافیکی کمک‌آموزشی درس کنترل به‌کمک نرم‌افزار متلب طراحی و تهیه شده است. هدف از تهیهٔ این نرم‌افزار آشنایی بیشتر دانشجویان با توابع کنترلی موجود در متلب است و پوستهٔ گرافیکی این نرم‌افزار تنها برای تسریع فرایند یادگیری استفاده شده است. نرم‌افزار تهیه‌شده روش شبیه‌سازی سیستمهای دینامیکی را با استفاده از توابع متنی ساده به دانشجویان آموزش می‌دهد. دانشجویان ضمن حل تمرینهای ارائه‌شده در نرم‌افزار و یادگیری نحوهٔ استفاده از توابع متنی می‌توانند نتایج شبیه‌سازی را مشاهده و تأثیر تغییر پارامترهای مسئله در نتایج را بررسی کنند. مشاهدهٔ این نتایج می‌تواند به درک دانشجویان از مطالب ارائه‌شده در درس کنترل کمک کند. از آنجا که انجام دستی محاسبات لازم برای دستیابی به این نتایج معمولاً زمان زیاد و تست آزمایشگاهی آنها هزینهٔ زیادی نیاز دارد، این نرم‌افزار جایگزین مفیدی برای دو روش متداول مذکور ارائه می‌دهد. این نرم‌افزار علاوه بر پیامدهای یادشده دانشجویان را با توابع متنی مربوط به درس کنترل در محیط برنامه‌نویسی متلب آشنا خواهد کرد که می‌تواند در آیندهٔ تحصیلی و شغلی ایشان مؤثر باشد.

لازم به ذکر است که نرم‌افزارهایی مانند LABVIEW، جعبه‌ابزار SISO Tool و محیط Simulink از نرم‌افزار متلب محیط گرافیکی دارد و توانایی بالقوه‌ای در پیاده‌سازی مطالب ارائه‌شده در درس کنترل

---

1. Graphical User Interface (GUI)

۲. معادل مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی برای واژهٔ icon

دارند. اما در این پژوهش به علل زیر از این نرم‌افزارها استفاده نشده است و نرم‌افزار جدیدی طراحی و تهیه شده است:

- نرم‌افزارهای نام‌برده عمدتاً برای مقاصد پژوهشی و کاربردی طراحی شده‌اند در صورتی که نرم‌افزار معرفی شده در این مقاله برای اهداف آموزشی طراحی شده است. در مقاصد پژوهشی اولاً فرض بر احاطهٔ علمی کاربر دربارهٔ مسئله مورد بررسی گذاشته می‌شود و ثانیاً با هدف استفاده از تواناییهای حداکثری نرم‌افزار جزئیات بسیاری در نرم‌افزار گنجانده می‌شود. هرچند در کاربردهای کمک‌آموزشی نداشتن آشنایی کافی کاربر با موضوع مورد بررسی و جزئیات فراوان ارائه‌شده در نرم‌افزار باعث سردرگمی کاربر و محقق نشدن اهداف آموزشی خواهد شد.
- محیطهای گرافیکی نرم‌افزار متلب مانند Simulink و SISO Tool ارتباط مؤثری با کاربر برقرار می‌کنند، اما بسیاری از توابع موجود در جعبه‌ابزارهای متلب در این محیطهای گرافیکی قابل‌استفاده نیست. بنابراین آشنایی کاربران با محیط متنی اجتناب‌ناپذیر است. نرم‌افزار ارائه‌شده مقدمات این آشنایی را در محیطی گرافیکی و با ارائهٔ کمکهای موردنیاز به کاربر فراهم می‌آورد. این آشنایی با توابع متلب، زمینهٔ کارکرد راحت‌تر با این نرم‌افزار را در دروس دیگر فراهم می‌کند.
- ساخت ابزاری مشابه با نرم‌افزار طراحی‌شده در محیط LABVIEW نیز امکان‌پذیر است و خصوصاً در مواردی، که هدف ارائهٔ آزمایشگاه به دو صورت مجازی و واقعی در کنار یکدیگر است، توصیه می‌شود. در این مقاله ازآنجاکه هدف ساخت محیط آزمایشگاه مجازی نیست از نرم‌افزار متلب استفاده شده است.

۳. ۱. فلوچارت و رابط گرافیکی نرم‌افزار

نرم‌افزار تهیه‌شده مشابه سرفصل آموزشی درس کنترل خودکار شامل ۷ فصل است، که برای هر فصل به‌تناسب تعداد توابع معرفی‌شده، تعدادی پرسش در نظر گرفته شده است. فصل اول بیشتر جنبهٔ آشنایی با توابع پرکاربرد کنترل در متلب را دارد؛ فصل دوم شامل توابع موردنیاز برای ساده‌سازی نمودارهای بلوکی[1] است؛ فصل سوم خصوصیات گذرای سیستم را بررسی می‌کند؛ در فصل چهارم، پنجم، و ششم به‌ترتیب به رسم نمودارهای مکان هندسی ریشه‌ها[2]، بود[3]، و نایکویست[4] می‌پردازیم؛ و

1. Block diagram
2. Root locus
3. Bode diagram
4. Nyquist plot

در فصل هفتم مقادیر حد بهره[1] و حد فاز[2] و فرکانس مربوط به آنها محاسبه می‌شود. جدول ۱ بیانگر تعداد تمرینها هر فصل در نرم‌افزار است.

لازم به ذکر است که تمرینهای گنجانده‌شده در نرم‌افزار به‌موازات سرفصل آموزشی درس و تمرینهای کتاب است. نحوهٔ انتخاب این تمرینها به‌گونه‌ای است که ابتدا دانشجویان با ساختار و نحوهٔ پیاده‌سازی توابع متنی کنترلی موجود در متلب آشنا شوند. سپس بتوانند از این دانش کسب‌شده برای شبیه‌سازی پاسخ سیستمهای دینامیکی استفاده کنند و نهایتاً با تغییر پارامترهای مختلف سیستم و شبیه‌سازی پاسخ آن، نتیجهٔ تغییر پارامترها را بر روی پاسخ مشاهده کنند. مشاهدهٔ این نتیجه می‌تواند به درک دانشجویان از مطالب ارائه‌شده در درس کنترل کمک کند.

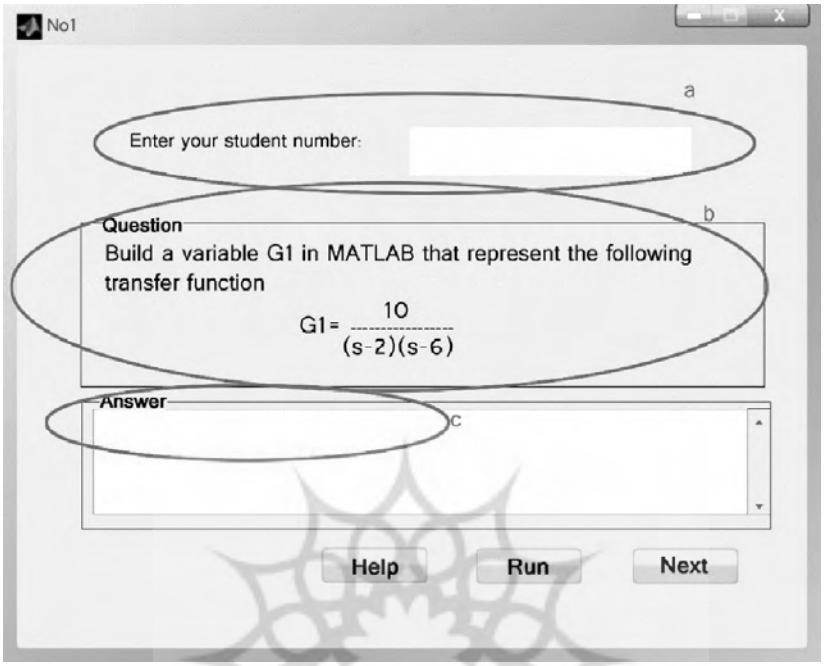
جدول ۲: تعداد تمرینها هر فصل در نرم‌افزار

شماره فصل	عنوان فصل	تعداد تمرینها
۱	مقدمه	۸
۲	دیاگرام بلوکی	۳
۳	پاسخ گذرا	۵
۴	مکان هندسی ریشه‌ها	۲
۵	نمودار بود	۳
۶	نمودار نایکویست	۲
۷	حد بهره و حد فاز	۲

ساختار نرم‌افزار و طراحی رابط گرافیکی آن برای تمام فصلهای گفته‌شده در بالا مشابه است. در ادامه فلوچارت برنامه‌نویسی و روند پاسخ‌گویی به پرسشها را با استفاده از یکی از پرسشهای فصل اول نرم‌افزار بررسی می‌کنیم. با اجرای برنامه توسط کاربر، متن پرسش در شکل ۲ نمایش داده می‌شود.

پرتال جامع علوم انسانی

1. Gain margin
2. Phase margin



شکل ۲: نمایش گرافیکی نرم‌افزار

در رابط گرافیکی نشان‌داده‌شده Enter your student number، در قسمت a کاربر شمارهٔ دانشجویی خود را وارد می‌کند. این ورودی در مرحلهٔ تصحیح پاسخها و نمره‌دهی به‌عنوان شناسهٔ دانشجو استفاده می‌شود. در قسمت b صورت پرسش مشاهده می‌شود. پرسشهای فصل اول بر اساس توابع پرکاربرد و در فصلهای بعد باتوجه‌به سرفصلهای آموزشی درس انتخاب شده‌اند. پاسخ باید توسط کاربر در قسمت c، که یک محیط متنی قابل‌ویرایش است، وارد شود.

در پایین رابط گرافیکی سه دکمهٔ فشاری دیده می‌شود:

- دکمهٔ Help: کاربر در صورت نیاز با فشردن این کلید تابع موردنیاز برای پاسخ‌گویی به پرسش و نحوهٔ استفاده از آن را در Help نرم‌افزار متلب مشاهده می‌کند؛
- دکمهٔ Run: بعد از آنکه دانشجو پاسخ پرسشها را وارد کرد می‌تواند نتایج حاصل از اجرای پاسخ خود را با فشردن دکمهٔ Run ببینند و در صورت وجود هرگونه خطا یا مغایر بودن نتیجه با خواستهٔ مسئله، پاسخ واردشده را اصلاح کنند؛

- دکمهٔ Next: در صورت فشردن دکمهٔ Next ابتدا با نمایش پنجره‌ای کاربر باید از ارسال پاسخ پرسشها مطمئن شود. در صورت ابراز اطمینان کاربر، پاسخ او در یک فایل موقتی ذخیره می‌شود. چنانچه کاربر کلید No و یا Cancel را انتخاب کند، در پنجرهٔ مربوط به همان پرسش باقی خواهد ماند و امکان اصلاح دوبارهٔ پاسخ فراهم خواهد بود.

پس از اتمام هر یک از پرسشها و ذخیرهٔ پاسخ کاربر، پنجرهٔ مربوط به آن پرسش بسته می‌شود و پرسش برای پاسخ‌گویی نمایش داده می‌شود. در پرسش آخر از هر فصل علاوه بر ذخیرهٔ پاسخها در فایل ساخته‌شده، پاسخها برای تصحیح به شکل خودکار کدگذاری شده و به یک آدرس پست الکترونیکی ارسال می‌شوند. فایل پاسخ پس از ارسال به شکل خودکار از حافظهٔ رایانهٔ کاربر حذف خواهد شد.

۳. ۲. نرم‌افزار تصحیح تمرینها

همان‌گونه که توضیح داده شد، در نرم‌افزار تولیدشده پاسخهای دانشجویان به شکل خودکار برای مدرس ایمیل می‌شود. ازآنجاکه تحلیل این پاسخها و نمره‌دهی به آنها محتاج اختصاص زمان زیادی است، برای تصحیح و نمره‌دهی پاسخها نیز نرم‌افزاری تهیه شده است. به کمک این نرم‌افزار نمرهٔ هر دانشجو محاسبه شده و در فهرست دانشجویان کلاس وارد می‌شود.

به این منظور، نرم‌افزار تصحیح ابتدا فهرست دانشجویان را از یک فایل اکسل[1]، که در اختیار مدرس قرار می‌گیرد، بازیابی می‌کند. سپس بر اساس فهرست بازیابی‌شده فایلهای پاسخ را به ترتیبِ شمارهٔ دانشجویی و شمارهٔ فصل بارگذاری و اجرا می‌کند. پس از اجرای پاسخهای ارسالی، نرم‌افزار تصحیح تمرینها پاسخها را با پاسخ صحیح مقایسه می‌کند. پس از اتمام فرایند تصحیح برای تمام دانشجویان، نمرات در قالب یک فایل اکسل در اختیار مدرس قرار می‌گیرد.

٤. روش تحقیق

روش تحقیق در مقالهٔ حاضر توصیفی ـ پیمایشی است. در این روش از جمعیت موردمطالعه به‌صورت تصادفی نمونه‌هایی انتخاب شده و نظرات آنها بر مبنای پاسخ‌گویی به تعدادی پرسشها، معرف و بیانگر نظرات کل جمعیت فرض می‌شود. در پژوهشهای پیمایشی توجه به دو ویژگی وجود ابزار استاندارد جمع‌آوری داده‌ها، که اصلی‌ترین نوع آن پرسش‌نامه است، و تعمیم نتایج از نمونه‌ای کوچک به کل

---

1. Excel

جامعهٔ آماری الزامی است. ازآن‌جا که در این پژوهش نیاز به بررسی میزان اثرگذاری نرم‌افزار با مراجعه به نظرها و نگرشهای دانشجویان بود، از روش پیمایشی استفاده شده است.

برای بررسی میزان اثرگذاری نرم‌افزار تهیه‌شده، یک بررسی آماری بر روی دانشجویان درس کنترل خودکار دانشکدهٔ مهندسی مکانیک دانشگاه شیراز صورت گرفته است. از ۱۹ نفر از این دانشجویان در دو نیمسال، که به‌صورت تصادفی انتخاب شده‌اند، خواسته شد که پرسشهای بستهٔ نرم‌افزار آموزشی را به‌عنوان بخشی از تکالیف خود انجام دهند و پاسخ آنها را ارسال کنند. ازآنجاکه در روش پیمایشی برای حصول نتیجه‌های مقایسه‌ای وجود گروه کنترل الزامی است، در این تحقیق نیز گروه کنترلی در نظر گرفته شده است. در این پژوهش گروه کنترل به دسته‌ای از اعضای جامعهٔ آماری اطلاق می‌شود که از نرم‌افزار تهیه‌شده استفاده نکرده‌اند. تعداد این دانشجویان۴۰ نفر است که از راههای دیگری به‌جز نرم‌افزار تهیه‌شده امکان آشنایی و استفاده از نرم‌افزار متلب را داشته‌اند.

در پایان هر نیمسال برای بررسی میزان اثرگذاری نرم‌افزار یک فرم نظرسنجی در اختیار دو گروه قرار گرفته است. پرسشهای این فرم در جدول۳ قابل‌ملاحظه است. این پرسشها به‌گونه‌ای طراحی شده که نظر دانشجویان را در چهار زمینهٔ زیر بسنجد:

- آشنایی با توابع مرتبط با کنترل خودکار در نرم‌افزار متلب؛
- تمایل به استفاده از رابط گرافیکی به‌جای رابط متنی در متلب؛
- تأثیر نرم‌افزار در میزان یادگیری درس کنترل خودکار؛
- کیفیت تمرینهای ارائه‌شده.

جدول ۳: فرم نظرسنجی

ردیف	پرسش	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	ضعیف	نظری ندارم
۱	آیا با توابع متلب برای ساخت تابع تبدیل آشنایی دارید؟					
۲	آیا با توابع متلب برای انجام عملیات جبری بر روی توابع تبدیل آشنایی دارید؟					
۳	آیا با نحوهٔ رسم نمودار «بود» در متلب آشنایی دارید؟					
۴	آیا با نحوهٔ رسم نمودار «نایکوییست» در متلب آشنایی دارید؟					
۵	آیا با نحوهٔ رسم نمودار مکان هندسی ریشه‌ها در متلب آشنایی دارید؟					

۶	آیا با نحوهٔ محاسبه ریشه‌ها و قطبهای یک تابع تبدیل آشنایی دارید؟					
۷	آیا طراحی گرافیکی نرم‌افزار ارائه شده در آسانی یادگیری توابع متلب تأثیری داشته؟					
۸	آیا طراحی گرافیکی نرم‌افزار ارائه‌شده غیرقابل‌استفاده است؟					
۹	آیا صورت پرسشها در نرم‌افزار ارائه‌شده قابل‌فهم است؟					
۱۰	آیا Help را در نرم‌افزار ارائه‌شده استفاده کردید؟					
۱۱	آیا در ارسال پاسخها در نرم‌افزار ارائه‌شده مشکلی داشته‌اید؟					
۱۲	آیا نحوهٔ ارسال پاسخها در نرم‌افزار ارائه‌شده مناسب بود؟					
۱۳	آیا مطالب درسی مرتبط با پرسشهای این نرم‌افزار ارائه شده بود؟					
۱۴	آیا نرم‌افزار ارائه‌شده تأثیر مثبتی بر عمق یادگیری مفاهیم درسی گذاشته است؟					
۱۵	آیا فکر می‌کنید مطالب ارائه‌شده در نرم‌افزار در آیندهٔ تحصیلی شما تأثیر مثبت دارد؟					
۱۶	آیا در طول استفاده از نرم‌افزار تعارضی میان آموخته‌های کلاسی و خروجی نرم‌افزار حاصل شد؟					
۱۷	آیا نرم‌افزار ارائه‌شده به حل تمرینها کمک مثبتی کرده است؟					
۱۸	آیا تعداد تمرینها در بخشهای مختلف نرم‌افزار کافی بوده است؟					
۱۹	نظر کلی شما دربارهٔ میزان مثبت بودن تأثیر نرم‌افزار ارائه‌شده چیست؟					
۲۰	آیا استفاده از این نرم‌افزار را برای دوره‌های آینده درس کنترل پیشنهاد می‌کنید؟					

پاسخ هر یک از پرسشهای نظرسنجی به‌صورت چهار سطح خیلی زیاد، زیاد، متوسط و ضعیف از شرکت‌کنندگان دریافت شده است. برای افزایش صحت نظرسنجی گزینهٔ «نظری ندارم» نیز برای تمامی پرسشهای در نظر گرفته شده است.

۵. یافته‌های تحقیق

در این بخش به ارائه و تحلیل نتایج نظرسنجی انجام‌شده دربارهٔ میزان تأثیر نرم‌افزار طراحی‌شده بر کیفیت آموزش مفاهیم درس کنترل خودکار پرداخته خواهد شد. نتایج خام نظرسنجی به تفکیک چهار گروه اصلی پرسشهای مطرح‌شده برای گروهی، که از نرم‌افزار استفاده کرده‌اند، در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴: نتایج خام نظرسنجی به تفکیک چهار گروه اصلی پرسشها برای گروهی که از نرم‌افزار استفاده کرده‌اند

	نظری ندارم	ضعیف	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
آشنایی با توابع مرتبط با کنترل خودکار در نرم‌افزار متلب	۱/۷۵	۹/۷۱	۳۲/۰۴	۳۸/۰۶	۱۸/۴۵
تمایل به استفاده از رابط گرافیکی به‌جای رابط متنی در متلب	۳/۹۵	۱۳/۳۱	۲۰/۵۸	۴۲/۴۱	۱۹/۷۵
تأثیرنرم‌افزار در بهبود یادگیری درس کنترل خودکار	۳/۳۴	۱۱/۲۷	۲۵/۰۵	۴۲/۵۹	۱۷/۷۵
کیفیت تمرینهای ارائه‌شده	۱/۷۲	۰/۶۸	۱۱/۳۴	۶۰/۴۸	۲۵/۷۷

برای گروهی از دانشجویان، که از نرم‌افزار استفاده نکرده‌اند، نتایج خام نظرسنجی تنها از دو گروه اول پرسشها یعنی پرسشهای در زمینهٔ «آشنایی با توابع مرتبط با کنترل خودکار در نرم‌افزار متلب» و «تمایل به استفاده از رابط گرافیکی به‌جای رابط متنی در متلب» در جدول ۵ آورده شده است. لازم به یادآوری است که پاسخ این دسته از دانشجویان به گروههای سوم و چهارم پرسشهای موجود در نظرسنجی یعنی «تأثیر نرم‌افزار در میزان یادگیری درس کنترل خودکار» و «کیفیت تمرینهای ارائه‌شده» به علت آشنایی نداشتن آنها با نرم‌افزار ارائه‌شده بی‌ارزش است.

جدول ۵: نتایج خام نظرسنجی به تفکیک دو گروه اصلی پرسشها برای گروهی که از نرم‌افزار استفاده نکرده‌اند

	نظری ندارم	ضعیف	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
آشنایی با توابع مرتبط با کنترل خودکار در نرم‌افزار متلب	۱/۱	۳۷/۱۶	۳۳/۳	۱۰/۲	۱۸/۲
تمایل به استفاده از رابط گرافیکی به‌جای رابط متنی در متلب	۶۵/۷۹	۰	۲۳/۶۸	۱۰/۵۳	۰

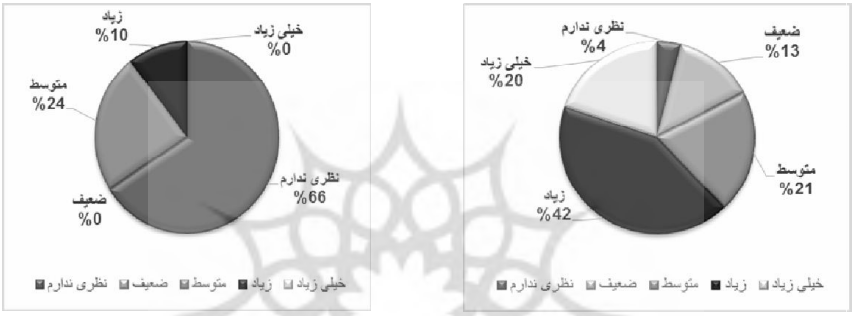
همان‌گونه که در شکل ۳ نشان داده شده است دانشجویانی که از نرم‌افزار تهیه‌شده استفاده کرده‌اند آشنایی به‌مراتب بالاتری با تواناییهای نرم‌افزار متلب در موضوع درس یعنی کنترل خودکار پیدا کرده‌اند. ۸۸ درصد از دانشجویانی که از این نرم‌افزار استفاده کرده‌اند آشنایی متوسط به بالا با توابع متلب مورد استفاده در تحلیل و طراحی سیستمهای کنترلی دارند. این در حالی است که از گروه دوم یعنی دانشجویانی، که از نرم‌افزار تهیه‌شده استفاده نکرده‌اند، ۶۲ درصد با این توابع آشنایی متوسط به بالا دارند.

(الف) گروهی که از نرم افزار استفاده کرده‌اند (ب) گروهی که از نرم افزار استفاده نکرده‌اند

شکل ۳: مقایسهٔ پاسخ دو گروه در زمینهٔ آشنایی با توابع مرتبط با کنترل خودکار در نرم‌افزار متلب

شکل۴ بیانگر نظر دانشجویان دربارهٔ کارآیی رابطهای گرافیکی است. دانشجویانی که از نرم‌افزار گرافیکی تهیه‌شده استفاده کرده‌اند به‌مراتب دید مثبت‌تری نسبت به این نرم‌افزار دارند. نتایج نظرسنجی نشان می‌دهد که ۸۳ درصد این دانشجویان تمایل متوسط به بالایی برای استفاده از رابط گرافیکی دارند. هرچند در گروه دانشجویانی، که از نرم‌افزار تهیه‌شده استفاده نکرده‌اند، ۶۶ درصد هیچ

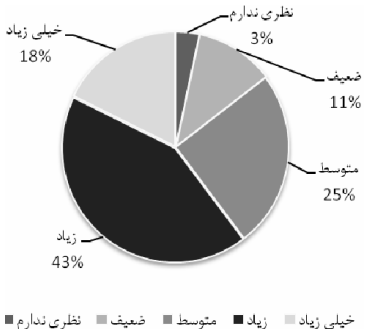
نظری نسبت به استفاده از رابط گرافیکی نداشته‌اند که این به معنی وجود نداشتن تجربهٔ استفاده از این رابط است. هرچند معرفی رابطهای گرافیکی نرم‌افزار متلب از اهداف اولیه این نرم‌افزار کمک‌آموزشی نبوده، ولی باتوجه‌به نتایج نظرسنجی ایجاد آشنایی با امکانات متلب در زمینهٔ رابطهای گرافیکی از دستاوردهای قابل‌توجه این نرم‌افزار است. این آشنایی باتوجه‌به استفادهٔ وسیع از رابطهای گرافیکی در محیطهای صنعتی تأثیر زیادی در آیندهٔ شغلی دانش‌آموختگان خواهد داشت.



(الف) گروهی که از نرم افزار استفاده کرده‌اند **(ب) گروهی که از نرم افزار استفاده نکرده‌اند**

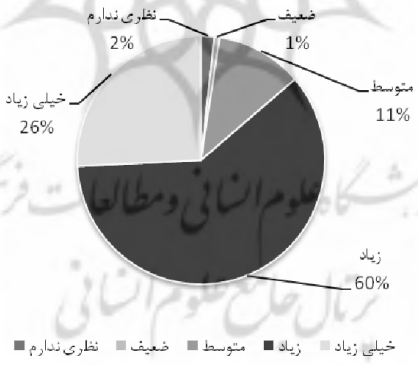
شکل ۴: مقایسهٔ پاسخ دو گروه در زمینهٔ تمایل به استفاده از رابط گرافیکی به‌جای رابط متنی در متلب

گروههای ۳ و ۴ پرسشهای مطرح‌شده در نظرسنجی مختص دانشجویانی است که از نرم‌افزار تهیه‌شده استفاده کرده‌اند و هدف از طرح آنها سنجش کارآیی این نرم‌افزار است. در گروه سوم پرسشها از دانشجویان خواسته شده تأثیر نرم‌افزار در بهبود یادگیری درس کنترل خودکار را بیان کنند. شکل ۵ نشان‌دهندهٔ پاسخ دانشجویان به این گروه از پرسشهای نظرسنجی است. مطابق این نتایج ۸۶ درصد دانشجویان تأثیر نرم‌افزار در بهبود یادگیری مفاهیم درس کنترل خودکار را متوسط به بالا ارزیابی کرده‌اند.



شکل ۵: تأثیر نرم‌افزار در بهبود یادگیری درس کنترل خودکار برای دانشجویانی که از نرم‌افزار استفاده کرده‌اند

علاوه بر نظر کاربران دربارهٔ میزان تأثیر نرم‌افزار، نظر آنان دربارهٔ کیفیت تمرینها نیز مورد پرسش قرار گرفته است. شکل ۶ نشان‌دهندهٔ نحوهٔ پاسخ کاربران به این دسته از پرسشها است. نتایج نظرسنجی نشان‌دهندهٔ رضایت نسبی کاربران از کیفیت تمرینها است. بیش از ۹۷ درصد کیفیت تمرینها را متوسط به بالا ارزیابی می‌کنند.



شکل ۶: کیفیت تمرینهای ارائه‌شده در نرم‌افزار برای دانشجویانی که از نرم‌افزار استفاده کرده‌اند

٦. نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به علت اهمیت آشنایی دانشجویان درس کنترل با نرم‌افزار متلب و تأثیر استفاده از این نرم‌افزار برای بهبود کیفیت آموزشی درس کنترل، بستهٔ نرم‌افزاری آموزشی تهیه شده و در اختیار دانشجویان قرار گرفته است. ازآنجاکه دانشجویان تمایل زیادی به استفاده از محیط برنامه‌نویسی متنی

ندارند، بستهٔ نرم‌افزاری مذکور محیطی گرافیکی دارد. برای بررسی میزان تأثیر نرم‌افزار مذکور بر روی کیفیت آموزش درس کنترل خودکار از یک روش پیمایشی از نوع توصیفی استفاده شده است. دانشجویان درس کنترل خودکار دانشکدهٔ مهندسی مکانیک دانشگاه شیراز به دو دسته تقسیم شده و نرم‌افزار تنها در اختیار یک دسته از آنان قرار گرفته است. پس از اتمام نیمسال آموزشی نظرات آنان با استفاده از پرسش‌نامهٔ جمع‌آوری شده است؛ این کار برای دو نیمسال آموزشی تکرار شده است.

نتایج نظرسنجی نشان می‌دهد دانشجویانی، که از نرم‌افزار تهیه‌شده استفاده کرده‌اند، به‌مراتب آشنایی بالاتری با توانایی‌های نرم‌افزار متلب در موضوع درس کنترل خودکار پیدا کرده‌اند. آگاهی این دانشجویان از تواناییهای نرم‌افزار متلب به‌طور متوسط ۲۶ درصد نسبت به گروه دوم افزایش پیدا کرده است. علاوه بر این، رابط گرافیکی تهیه‌شده سبب افزایش ۵۹ درصدی آشنایی و اطلاع دانشجویان نسبت به وجود این امکانات در نرم‌افزار متلب شده است. در ارزیابی به‌عمل‌آمده ۸۶ درصد دانشجویان تأثیر نرم‌افزار در بهبود یادگیری مفاهیم درس کنترل خودکار را متوسط به بالا ارزیابی کرده‌اند. همچنین ۹۷ درصد کاربران از کیفیت تمرینهای گنجانده‌شده در نرم‌افزار آموزشی ابراز رضایت نسبی کرده‌اند.

باتوجه‌به نتایج ارزیابی، پیاده‌سازی این روش برای افزایش کیفیت آموزشی درس کنترل خودکار در رشته‌های مهندسی توصیه می‌شود. نرم‌افزار تهیه‌شده به‌صورت کد ـ باز[1] در وبگاه نویسندهٔ مقاله[2] در دسترس مدرسان این درس است.

هرچند تدریس بخش زیادی از توابع کنترلی نرم‌افزار متلب با استفاده از بستهٔ نرم‌افزاری تهیه‌شده امکان‌پذیر است، بخشی از این توابع، که در قالب جعبه‌ابزار سیمولینک در متلب گنجانده شده است، در نسخهٔ کنونی این نرم‌افزار غیرقابل‌دسترس است. بنابراین برقراری ارتباط نرم‌افزاری با سیمولینک برای استفاده از امکانات آن در چشم‌انداز توسعهٔ بستهٔ نرم‌افزاری تهیه‌شده قرار دارد.

مراجع

1. Ogata, K. (2010), Modern control engineering, Prentice Hall.
2. Weber, T. A. (2011), Optimal control theory with applications in economics, MIT Press Books.
3. Alagoz, B. B., Kaygusuz, A., Akcin, M. and Alagoz, S.(2013), A closed-loop energy price controlling method for real-time energy balancing in a smart grid energy market, *Energy*, Vol. 59, pp. 95-104.
4. Direnzo, M. S., and Greenhaus, J. H. (2011), Job search and voluntary turnover in a boundaryless world: a control theory perspective, *Academy of Management Review*, Vol. 36, No. 3, pp. 567-589.

---

1. Open-source
2. http:\\www.ehsanazadi.ir

۵. معماریان، حسین(۱۳۹۰)، سازکار ارزیابی درونی برنامه‌های آموزش مهندسی ایران، *فصلنامه آموزش مهندسی ایران*، سال سیزدهم، شماره ۵۱، صص.۳۰-۱.

6. Pudlowski, Z. J. (1992), Complex approach to developing computer-based electrical engineering education, *European Journal of Engineering Education*, Vol. 17, No.1, pp. 67-83.
7. Ertugrul, N. (1998), New era in engineering experiments: an integrated interactive teaching/ learning approach and real time visualizations, *International Journal of Engineering Education*, Vol. 14, No. 5, pp. 344-355.
8. Cockrum,R. H., Kennerknecht, R. J., Ibrahim, E. T. and Herder G. K. (1996), An innovative instrumentation and control laboratory for engineering technology, *ASEE, Annual Conference Proceedings*, Session 2647, available at http://www.asee.org (May 1999).
9. National instruments corporation (1998), Computer based measurement and automation in education, Massachusetts Institute of Technology and Stanford University, Part Number 350357B-01.

۱۰. شعبانی‌نیا، فریدون و توکل‌پور، داود(۱۳۸۵)، نقش اینترنت در آزمایشگاههای آموزشی و تحقیقاتی دانشکده‌های مهندسی، *فصلنامه آموزش مهندسی ایران*، سال هشتم، شماره ۳۰، صص. ۱۱۳-۹۷.

۱۱. غلامی، طاهره(۱۳۸۷)، آموزش مهندسی از طریق یادگیری الکترونیکی و زیر ساختارهای موردنیاز آن در نظام آموزش عالی، *فصلنامه آموزش مهندسی ایران*، سال دهم، شماره ۴۰، صص. ۲۳-۱.

12. Wiesner, T. and Lan,W. (2004), Comparison of student learning in physical and simulated unit operations experiments, *Journal of Engineering Education,* Vol. 93, pp. 195-204.
13. Lindsay, E. D. and Good, M. C.(2005), Effects of laboratory access modes upon learning outcomes, *IEEE Transactionon Education*, Vol. 48, pp. 619-631.
14. Koretsky, Milo D., Amatore, D., Barnes, C. and Kimura, S. (2008), Enhancement of student learning in experimental design using a virtual laboratory, *IEEE Transactions on Education*, Vol.51, No. 1, pp. 76-85.
15. De Jong, T. (2012), Using scenarios to design complex technology-enhanced learning environments, *Educational technology Research and Development*, Vol. 60, pp. 883-901.
16. Zwikael, O., Shtub, A. and, Chih, Y. (2013), Simulation-based training for project management education: mind the gap, as one size does not fit all, *Journal of Management in Engineering*, Vol. 31, pp. 401-405.
17. Chung, G., Harmon, T. C. and Baker, E. (2001), The impact of a simulation-based learning design project on student learning, *IEEE Transaction on Education*, Vol. 44, pp. 390–398.
18. Nesimi, E. (2000), Towards virtual laboratories: a survey of LabVIEW-based teaching/learning tools and future trends, *International Journal of Engineering Education*, Vol. 16, No.3, pp. 171-180.