

## اولین آزمایشگاه مجازی و از راه دور ایران برای مهندسان کنترل: طراحی و اجرا

سیدعلی اکبر صفوی، صبا صالحی، مهسا معتمدی، احسان کیخا، سیدوحید نقوی و حسین  
غفاری

دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز

**چکیده:** پیشرفتهایی که اخیراً در زمینه کامپیوتر، مخابرات و فناوریهای نرم افزاری به وجود آمده، به آشنایی دانشجویان و متخصصان با فرصتهای جدیدی برای گسترش کاربرد کنترل در آموزش و همچنین، امور اقتصادی، صنعتی و غیره شده منجر است. در این مقاله ابتدا به ذکر اهمیت محیطهای مجازی و زمان حقیقی در تحصیل، آموزش و پیشرفت آزمایشگاههای مجازی و کنترل از راه دور پرداخته و در ادامه چگونگی ایجاد یک محیط شبیه سازی شده، کنترل مجازی، زمان حقیقی و از راه دور یک فرایند آموزشی مورد استفاده برای آزمایشگاه درس کنترل خطی مربوط به دانشجویان کارشناسی گرایشهای مختلف مهندسی برق و مثالهایی از نحوه کاربرد آن آورده شده است. این تحقیق و تجربه می تواند زمینه راه اندازی آزمایشگاههای مجازی و از راه دور برای اغلب آزمایشگاههای دوره کارشناسی در دانشگاهها و نیز بسیاری از آزمایشگاههای موجود در صنعت را فراهم کند.

واژه های کلیدی: کنترل زمان حقیقی، سروو موتور، شبیه سازی، کنترل مجازی و کنترل از راه دور.

## ۱. مقدمه

پیشرفتهای اخیر در زمینه ارتباطات، محاسبات، فناوری نرم افزاری و غیره محیط جدیدی با فرصتهای بزرگ به منظور کنترل و کاربردهای آن به وجود آورده است [۱]. در سالهای اولیه پس از شناخته شدن شبکه، تمایل برای توسعه ارائه دروس از طریق اینترنت و ارزیابی دانشجویان از این طریق شدت گرفت. در زمینه کنترل سیستمها، پیشرفتهای کاربردی اینترنت، روشهای جدیدی را برای نظارت و کنترل از راه دور سیستمها فراهم کرده است. در این شرایط، کاربر فقط با یک کامپیوتر شخصی با دسترسی به اینترنت یا شبکه با هر بعد مسافتی از سیستم واقعی می تواند آن را کنترل یا بر آن نظارت کند [۲ و ۱].

از آنجا که تحصیل آموزش و انجام دادن پژوهش اهمیت زیادی در توسعه علم و فناوری دارد، فناوریهای به دست آمده لازم است به بهترین شیوه در این زمینه به کار برده شوند. توسعه آموزشها و دانشگاههای الکترونیکی (مجازی) نمونه ای از این کاربرد هستند. یادگیری الکترونیکی امروزه یکی از کاربردهای مهم فناوری اطلاعات و ارتباطات در جهان به حساب می آید و بخشهای مختلفی از اجتماع اعم از شرکتها، صنایع، مؤسسات آموزشی و مردم علاقه مند به یادگیری و با سؤالات و کاربردهای مختلفی از این فناوری روبه رو هستند. آموزش (یادگیری) از راه دور روشی از آموزش (یادگیری) است که در آن یادگیرنده در فاصله ای زیادی از یاد دهنده قرار دارد و [معمولاً] به کمک بسته های آموزشی از قبل تهیه شده آموزش می بیند. در این حالت یادگیرنده هنوز توسط معلم هدایت و راهنمایی می شود، ویژگیهای بسته های آموزشی چگونه باید باشد؟ انتظار می رود که بسته آموزشی بتواند تمام عملکردهای یک معلم خوب در محیطهای سنتی آموزش را ارائه دهد. امروزه، با آموزش الکترونیکی (مجازی) انتظار می رود که یادگیرنده در هر زمان و مکان با داشتن یک خط تلفن و یک کامپیوتر به این نوع سیستم آموزشی یا یادگیری و مطالب درسی دسترسی داشته باشد. مطالب درسی در محیط چند رسانه ای ارائه و گفتگو و مذاکره با معلم و سایرین به صورت On-Line و Off-Line انجام می شود. در مرجع ۱۵، اهداف، روشها و چالشهای آموزش الکترونیکی همراه با راهکارهای مربوط

با تأکید بر کشورهای در حال توسعه بیان شده است. در مرجع ۱۶، نیز به موضوع روشهای تولید محتوای الکترونیکی و استانداردهای مربوط برای ارائه و کاربردهای آموزش الکترونیکی و از راه دور پرداخته شده است.

مبحث ابزار دقیق مجازی از اواخر دهه ۱۹۸۰ میلادی توسط شرکتی که یکی از بزرگترین تولید کنندگان تجهیزات ابزار دقیق در جهان است، مطرح شد. هدف اصلی آن شرکت به کارگیری هر چه بیشتر و بهتر نرم افزار در راستای کاربردهای تجهیزات ابزار دقیق بود. متعاقب آن در یک دهه گذشته، با توسعه و کاربرد شبکه و اینترنت بحث آزمایشگاههای مجازی و از راه دور مورد توجه قرار گرفته است. برای نمونه، در اواخر دهه ۹۰ [۳ و ۱۷] به کاربرد آزمایشگاههای مجازی برای آموزش از طریق وب اشاره شد و در زمره اولین آزمایشگاههای مجازی تشکیل شده روی اینترنت می توان به مراجع ۹ و ۱۰ اشاره کرد. علاوه بر اعلام وجود آزمایشگاههای مجازی، موضوع امکان انجام دادن آزمایش از راه دور نیز به تدریج مورد توجه ویژه قرار گرفت که برای نمونه های اولیه می توان به امکانات آزمایش مدارهای آنالوگ [۸] یا امکانات آزمایشگاهی از راه دور [۷] اشاره کرد. اخیراً نیز به موضوع و امکانات طراحی و تحلیل سیستمهای کنترل از طریق وب [۱۲] پرداخته شده است. از طرف دیگر، هرگونه عمل کنترل و نظارت از طریق شبکه چالشهای جدیدی را مطرح می سازد که شناخت آنها و یافتن راهکارهای مقابله با آن چالشها از اهمیت زیادی برخوردار است [۲ و ۱۱].

گرچه ارائه دروس نظری از راه دور و از طریق اینترنت تاکنون پیشرفتهای خوبی در کشور ایران داشته [۱۵ و ۱۶]، ولی برای ارائه دروس آزمایشگاهی یا امکان استفاده از راه دور از آزمایشگاهها برای امور پژوهشی توسعه چندانی پیدا نکرده است، بنابراین، ضرورت آشنایی با شبکه، برنامه های اجرایی تحت شبکه، کنترل از طریق وب و غیره احساس می شود و در این مقاله با اولین نمونه آزمایشگاه مجازی و از راه دور در ایران آشنا می شوید.

در این مقاله پس از آشنایی با مفاهیم اولیه، چگونگی طراحی و اجرای محیط

آزمایشگاهی مجازی و از راه دور برای یک دستگاه سروو آموزشی برای استفاده دانشجویان رشته مهندسی، به خصوص مهندسی کنترل و متخصصان صنایع، ارائه شده است. دستگاه سروو آموزشی مجموعه‌ای فشرده ساخت شرکت فیدبک انگلستان و متشکل از موتور DC و سیستم‌های اندازه‌گیری و کنترل سرعت و موقعیت است که در بیشتر دانشگاه‌های ایران و جهان برای آزمایشگاه درس کنترل خطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این دستگاه ابتدا به صورت مجازی در محیط LabVIEW شبیه‌سازی و تجهیزات جانبی از قبیل انواع ورودیهای دستگاه، اسیلوسکوپ، مولد سیگنال و سایر دستگاه‌های اندازه‌گیری نیز به صورت مجازی در محیط مربوط ایجاد شده اند و امکان انجام دادن انواع آزمایشها در این محیط مجازی برای دانشجویان فراهم است. همچنین، برای آموزش بهتر دانشجویان با محیط‌های واقعی، امکان کنترل و نظارت زمان حقیقی (از راه دور و نزدیک) بر عملکرد دستگاه یادشده به صورت عملی از طریق ارتباط کامپیوتر و کارت تبادل داده مناسب با دستگاه فیزیکی در محیط LabVIEW برقرار شده است. لذا، دانشجویان پس از آشنایی اولیه با سیستم در محیط مجازی، امکان انجام دادن آزمایشهای زمان حقیقی بر روی دستگاه واقعی از طریق کنترل کامپیوتری را نیز خواهند داشت.

توانمندیهای آزمایشگاهی یادشده از طریق شبکه Web قابل دسترس و انجام دادن آزمایشهای مجازی یا زمان حقیقی از راه دور امکانپذیر است. این امر موجب توسعه هر چه بیشتر دوره های آموزش الکترونیکی و دانشگاه‌های الکترونیکی (مجازی) و نیز امکان همکاری هرچه بیشتر دانشگاهها و صنایع و نیز کاربرد گسترده این امور در صنایع خواهد شد.

## ۲. محیط‌های مجازی و زمان حقیقی

ابزار دقیق مجازی<sup>۱</sup> به معنای استفاده از محیط‌های نرم افزاری به جای استفاده از ابزار و

وسایل فیزیکی مرسوم برای اندازه گیری و کنترل متغیرهای مختلف است. تنها ابزار فیزیکی مورد نیاز، نرم افزارها و کارتهای تبادل داده برای ارتباط با کامپیوتر در محیطهای زمان حقیقی است [۲]. با استفاده از فناوری محیطهای مجازی مهندسان و متخصصان می توانند با صرفه جویی در وقت و هزینه کیفیت محصولات را با حداقل هزینه افزایش دهند.

تجهیزات مجازی از طریق فراهم آوردن یک مدل جدید ساختاری از فرایند به تحلیل و تنظیم آنها می پردازند. توسعه این امر با پیشرفت تجهیزات کامپیوتری، شبکه ارتباطی و طراحی سیستمهای نرم افزاری میسر است. این عوامل باعث می شوند که یک محیط مجازی برای انواع کاربردها و استفادههای مختلف در دسترس باشد. تجهیزات مجازی نه تنها قابلیت رقابت با تجهیزات سنتی و قدیمی را دارند، بلکه امکانات بهتری برای کار از طریق شبکه و نمایش دادهها را فراهم می کنند و به همین دلیل، آزمایشگاههای مجازی و از راه دور توسعه یافته اند. برای مثال، استفاده از آزمایشگاههای مجازی در مراجع ۳ و ۴ و ۵ و ۶ و ۷ گزارش شده است.

مزیت ویژه آزمایشگاههای از راه دور در مقایسه با آزمایشگاههای مجازی این است که کاربر می تواند از طریق اینترنت با فرایندهای واقعی ارتباط برقرار کند و این امر برای او جذاب تر از استفاده از محیطهای شبیه سازی شده نرم افزاری است. در آزمایشگاه از راه دور کاربر می تواند آزمایش را انجام دهد و پارامترهای کنترلی آن را تغییر دهد و نتیجه را ببیند و دادهها را از طریق شبکه دریافت کند [۴ و ۸]. در حال حاضر، بسیاری از دانشگاههای جهان در حال توسعه و راه اندازی آزمایشگاههای از راه دور برای دانشجویان هستند و این امکان به دانشجو داده می شود که فقط با استفاده از کامپیوتر شخصی خود به راحتی با فرایندهای آزمایشگاهی ارتباط برقرار کند [۴، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲].

از طرف دیگر، گرچه وجود محیطهای شبیه سازی شده کمک شایانی به شناخت و آموزش دانشجویان می کند، اما برای فهم بهتر و دقیق تر سیستم شبیه سازی شده، به خصوص در زمینه کنترل، استفاده از محیطهای زمان حقیقی بسیار مفید و مؤثر است.

دستیابی به محیط زمان حقیقی در مقیاس یک آزمایشگاه به راحتی از طریق کامپیوتر و نرم‌افزارهایی چون MATLAB, LabVIEW و غیره و یک کارت تبادل داده استاندارد امکان‌پذیر است. برای کسب اطلاعات بیشتر در خصوص چالشها و ویژگیهای کنترل زمان حقیقی از طریق شبکه به مرجع ۲ رجوع شود.

### ۳. شرح دستگاه سروو آموزشی

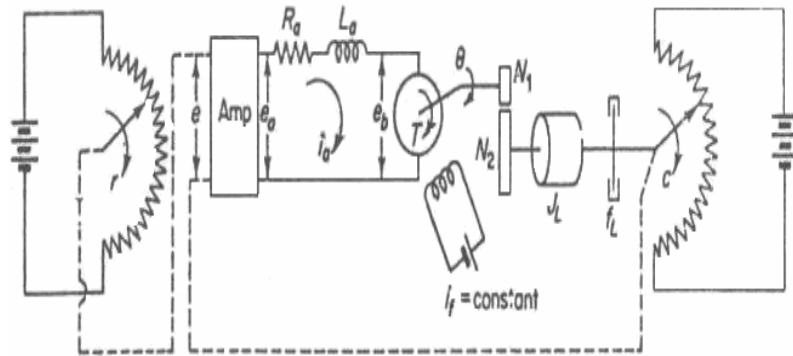
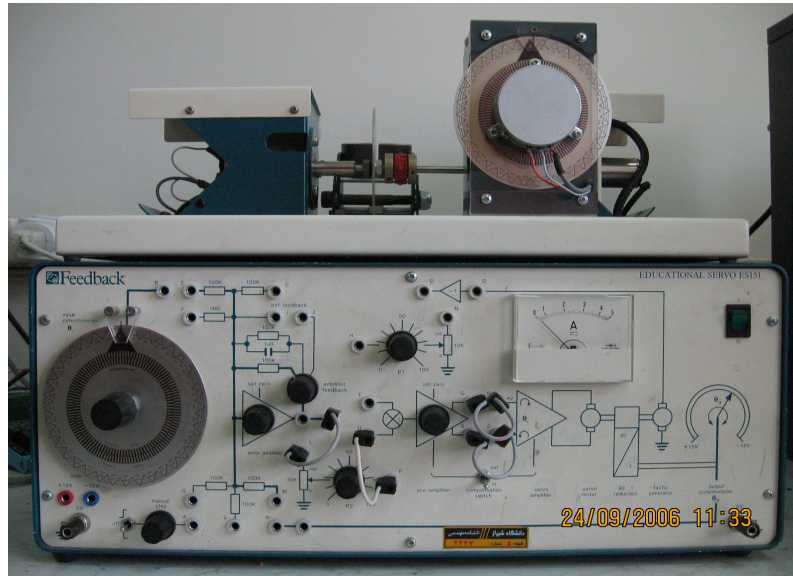
فرایند شبیه سازی شده، دستگاه سروو موتور آموزشی ES151 ساخت شرکت فیدبک انگلستان است که شامل یک موتور DC، دو پتانسیومتر ورودی و خروجی و سایر مؤلفه‌های مربوط است. این دو پتانسیومتر موقعیتهای زاویه ای بازوی ورودی و محور خروجی را به سیگنالهای الکتریکی متناسبی تبدیل می‌کنند. سپس، تفاضل این دو سیگنال که سیگنال خطا (e) نامیده می‌شود، توسط تقویت کننده‌ای (Amp) با بهره ثابت، تقویت و به مدار آرمیچر موتور DC اعمال می‌شود و گشتاور (T) برای چرخاندن بار خروجی، در جهت کاهش خطا به صفر، ایجاد می‌کند. با چرخیدن آرمیچر ولتاژی متناسب با حاصلضرب شار و سرعت زاویه‌ای در آن القا می‌شود [۱۳]. یک مدل الکترومکانیکی کلی سروو موتور (روش کنترل آرمیچر) در شکل ۱ نشان داده شده است. قسمتهای اصلی تشکیل دهنده این دستگاه عبارت‌اند از واحد تحریک و واحد آموزشی سروو.

#### ۳.۱. واحد تحریک

این واحد متشکل از پنج قسمت اصلی زیر است:

۱. موتور الکتریکی ۲۴ ولت DC که سرعت نامی آن ۳۰۰۰ rpm است؛
۲. تاکوژنراتور که ولتاژی بر اساس سرعت موتور تولید می‌کند؛
۳. جعبه دنده که با نسبت دور ۱/۳۰ سرعت را کاهش می‌دهد؛
۴. دیسک خروجی و پتانسیومتر که سرعت و موقعیت زاویه ای محور خروجی موتور را نشان می‌دهد؛

۵. واحد بار که یک سیستم ترمز مغناطیسی است.



شکل ۱: شمای واقعی و مدل الکترومکانیکی سروو موتور (روش کنترل آرمیچر)

۳.۲. واحد آموزشی سروو

این واحد متشکل از شش قسمت اصلی زیر است:

۱. پتانسیومتر ورودی که ولتاژی بین ۱۵- تا ۱۵+ ولت را بر اساس موقعیت پتانسیومتر

ورودی<sup>۱</sup> در نقطه B تولید می کند؛

۲. مدارهای کنترلی که کنترلرهای مختلفی در مسیر پیشرو و فیدبک فراهم می کنند؛

۳. Pre-amplifier که Servo-amplifier را با ولتاژ تقویت یافته تغذیه می کند؛

۴. Servo-amplifier که ولتاژ Pre-amplifier را برای تغذیه سیم پیچ آرمیچر موتور فراهم می کند؛

۵. اشکال مربوط به واحد تحریک شامل شکل موتور، جعبه دنده، شکل تا کوژنراتور، پتانسیوتر خروجی و بار؛

۶. آمپر متر که جریان موتور را نشان می دهد.

#### ۴. شبیه سازی و کنترل مجازی در محیط LabVIEW

صفحه جلو<sup>۲</sup> بخش مجازی دستگاه شبیه سازی شده در شکل ۲ نشان داده شده است. البته، در این مرحله و شکل مربوط نه تنها دستگاه سروو آموزشی شبیه سازی شده است، بلکه سایر تجهیزات آزمایشگاهی از قبیل سیگنال ژنراتور، اسیلوسکوپ، جعبه کنترل کننده PID و غیره نیز شبیه سازی شده اند و تمام داده ها و نتایج قابل ذخیره و نمایش در محیط کامپیوتری هستند.

#### ۴. ۱. طراحی محیط مجازی

با توجه به شکل ۲ مشاهده می شود که این قسمت از ۱۱ بخش فرعی زیر تشکیل شده است:

۱. مرحله دستی<sup>۳</sup>: این ورودی شامل کلید آتش<sup>۴</sup> و پیچ تنظیم مقدار دامنه پله است. با زدن کلید آتش یک پله در نقطه A آمده و با اتصال به نقطه G آن را به سیستم اعمال

- 
- 1 - Dial Input
  - 2 - Front Panel
  - 3- Manual Step
  - 4 - Trigger



می کند.

۲. اعمال ورودی<sup>۱</sup>: این ورودی شامل یک صفحه مدرج است که با چرخاندن آن بسته به موقعیت زاویه ای آن می توان ولتاژی DC بین ۱۵- تا ۱۵+ ولت در ترمینال B تولید کرد که با اتصال آن به ترمینال E ورودی به سیستم اعمال می شود.

۳. مولد سیگنال<sup>۲</sup>: این مولد قابلیت تولید چهار نوع سیگنال سینوسی، مربعی، مثلثی و دندانه اره ای را دارد. مقدار دامنه و فرکانس سیگنال مورد نیاز باید توسط کاربر از منوهای مربوط موجود در جعبه تنظیم شود.

۴. نوع ورودی<sup>۳</sup>: با استفاده از این منو کاربر می تواند نوع ورودی مورد نظر خود را انتخاب کند.

۵. مدارهای کنترلی: در سیستم سروو موتور آموزشی می توان سه نوع کنترل کننده متفاوت در مسیر پیشرو ایجاد کرد که عبارت اند از: P، PI، I خارجی. این کنترل کننده ها از طریق منوی Feedback Selector فعال می شوند.

۶. تقویت کننده ها: دستگاه سروو شامل Servo-Pre-Amplifier، Error-Amplifier، Amplifier است. هر یک از این تقویت کننده ها سیگنال عبوری را با ضریب مخصوصی تقویت می کنند.

۷. فیدبک: برای کنترل عملکرد سیستم سروو می توان از خروجیهای تاکوژنراتور یا پتانسیومتر خروجی برای برقراری یک حلقه فیدبک استفاده کرد. به کمک منوی Feedback Type می توان سیستم کنترل موقعیت<sup>۴</sup> و یا کنترل سرعت<sup>۵</sup> یا هر دو را انتخاب کرد.

۸. بار فوکو: برای اعمال بار یا اختلال<sup>۶</sup> به سروو بدون نیاز به سیستم ترمز مغناطیسی واقعی

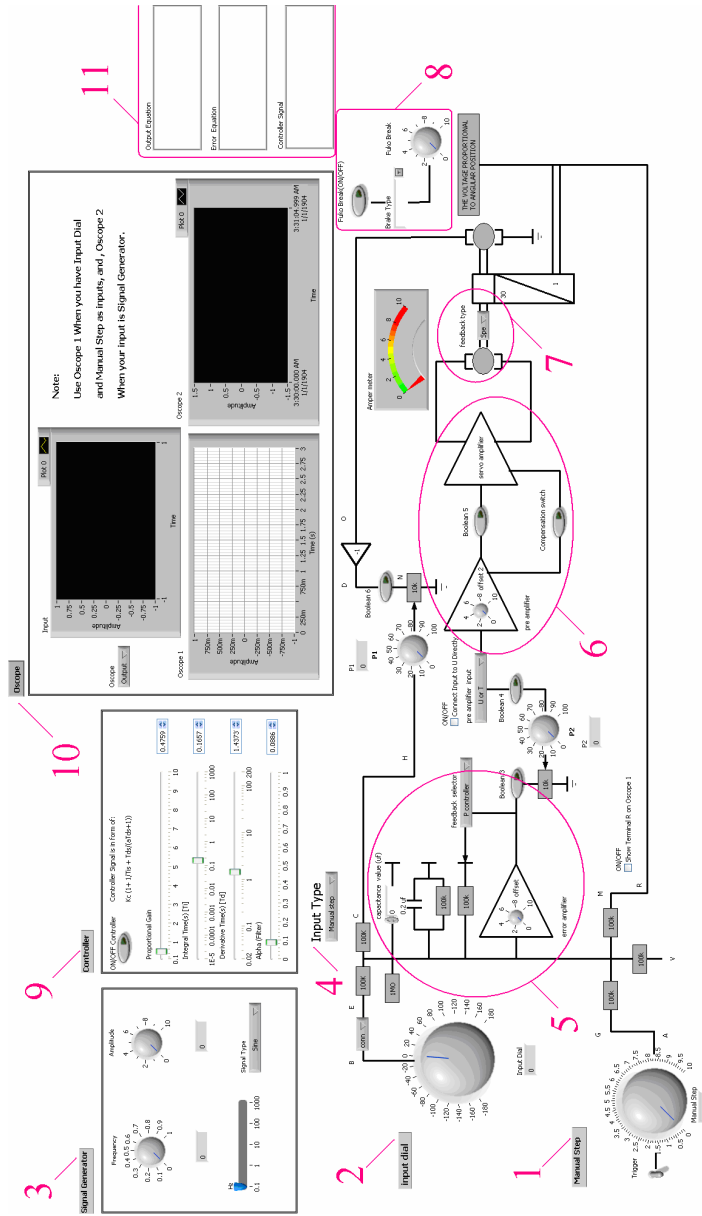
- 
- 1 - Input Dial
  - 2 - Signal Generator
  - 3- Input Type
  - 4 - Control Position
  - 5- Speed Control
  - 6 - Disturbance

تعبیه شده روی دستگاه واقعی می توان از بار (فوکوی) شبیه سازی شده استفاده کرد. خطی یا غیر خطی بودن بار توسط کاربر تعیین و مقدار آن با پیچ مربوط تنظیم می شود. این در حالی است که در سیستم کنترل کننده واقعی فقط اثر بار غیر خطی ناشی از ترمز فوکو قابل بررسی است.

۹. کنترل کننده: کنترل کننده طراحی شده برای این قسمت یک کنترل کننده PID است که ضرایب آن در دست کاربر است. کاربر می تواند همزمان با در نظر گرفتن پاسخ سیستم، ضرایب آن را به گونه ای تنظیم کند که به بهترین پاسخ ممکن دست یابد. این قسمت روی اصل دستگاه سروو واقعی نیست و به عنوان تجهیزات جانبی خریداری یا استفاده می شود.

۱۰. اسیلوسکوپ: در قسمت اسیلوسکوپ کاربر می تواند شکل موج ورودی، خروجی، و سیگنال خطا را ببیند. انتخاب اینکه کاربر سیگنال خطا یا خروجی را می خواهد، با استفاده از منوی Scope صورت می گیرد. نوع نمایشها نیز در این قسمت تعیین می شود.

۱۱. معادلات: معادلات خروجی، کنترلر و خطا همزمان با تغییر پارامترهای دستگاه یا کنترلر در این قسمت مشاهده می شود.



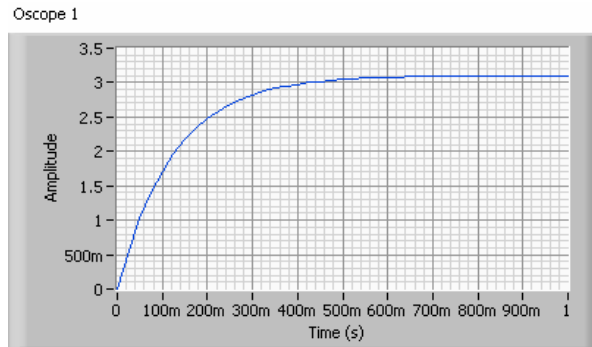
شکل ۶: قسمت مجازی دستگاه سرووی شبیه سازی شده در محیط LabVIEW

#### ۴ . ۲ . شرح یک آزمایش نمونه

ابتدا ورودی (e.g.: Manual Step) را از منوی مربوط انتخاب و سپس نوع مدار کنترلی مورد نیاز (e.g.: P-Controller) را بر می‌گزینیم. برای بستن هر نوع سیستمی لازم است که کلیدهای Boolean3، Boolean4 و Boolean5 روشن باشند. نوع فیدبک (e.g.: Speed Control) را بر می‌گزینیم. مقدار پتانسیومتر P2 را طبق آزمایش مربوط تنظیم می‌کنیم (e.g.: P2=20%). حال برنامه را Run می‌کنیم. پیچ Manual Step را به مقدار دلخواه (e.g.: 1) تنظیم می‌کنیم و کلید Trigger را می‌زنیم. در این حالت مدار حلقه باز است. خروجی تاکو ژنراتور در شکل ۳ دیده می‌شود. از این خروجی می‌توان تابع تبدیل را به دست آورد. می‌دانیم که زمان نشست در سیستمهای درجه اول، پنج برابر ثابت زمانی است، زمان نشست از شکل ۲، ۰٫۷ ثانیه است، بنابراین، ثابت زمانی ۱/۵ این مقدار؛ یعنی ۰٫۱۷۵ ثانیه محاسبه می‌شود. مقدار ضریب بهره نیز از تقسیم خروجی به ورودی به دست می‌آید که با توجه به شکل ۲ و ورودی ۱ ولت، ۳٫۱ محاسبه می‌شود. به همین روش می‌توان تابع تبدیل دستگاه واقعی را حساب کرد. توابع تبدیل سیستم شبیه سازی شده و سیستم واقعی به ترتیب با معادلات (۱) و (۲) نشان داده شده‌اند:

$$\frac{3.1028}{0.175s + 1} \quad (1)$$

$$\frac{2.15}{0.175s + 1} \quad (2)$$



شکل ۳: خروجی تاکوژنراتور سیستم شبیه سازی شده

### ۵. کنترل زمان حقیقی در محیط LabVIEW

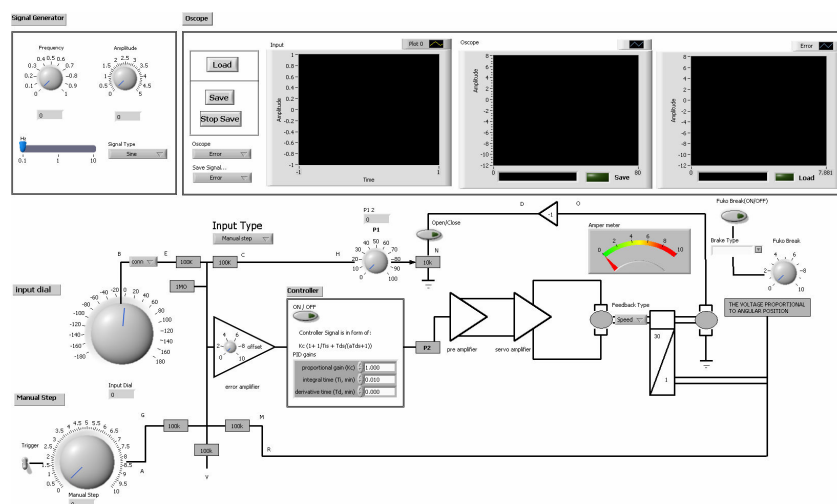
صفحه جلو قسمت کنترل زمان حقیقی سیستم در شکل ۴ نشان داده شده است. البته، در این مرحله و شکل مربوط اگر چه تمام فرمانها و اندازه گیریها با ارتباط مستقیم کامپیوتر با دستگاه سروو آموزشی ایجاد شده است، اما امکان استفاده از سایر تجهیزات آزمایشگاهی شبیه سازی شده از قبیل سیگنال ژنراتور، اسیلوسکوپ، جعبه کنترل کننده PID و غیره میسر است و تمام داده ها و نتایج قابل ذخیره و نمایش در محیط کامپیوتری اند.

#### ۵. ۱. طراحی محیط زمان حقیقی

بخشهای اساسی این محیط نیز همانند محیط مجازی است، با این تفاوت که در اینجا به جای سرووی شبیه سازی شده از دستگاه واقعی استفاده می شود. ورودیها توسط برنامه ایجاد و سپس، از طریق کارت تبادل داده به دستگاه اعمال می شوند. آن گاه خروجی سیستم دوباره از طریق کارت تبادل داده به برنامه باز می گردد. همچنین، می توان از خروجی Error-Amplifier سیگنال خطا را دریافت و به کمک آن از طریق کنترل کننده PID شبیه سازی شده موجود در برنامه سیگنال کنترل را تولید و دوباره به دستگاه واقعی اعمال کرد. اسیلوسکوپ موجود در این قسمت قابلیت ذخیره و نیز بازیابی سیگنالهای خروجی تاکو ژنراتور، خروجی پتانسیومتر، خطا و خروجی کنترلر را دارد. همچنین،

۷۰ اولین آزمایشگاه مجازی و از راه دور ایران برای مهندسان کنترل . . .

سیگنال ژنراتور شبیه سازی شده موجود می تواند مولد سیگنال لازم برای سیستم واقعی باشد.



شکل ۴: Front Panel قسمت زمان حقیقی دستگاه سرووی شبیه سازی شده در محیط LabVIEW.

#### ۲. ۵. شرح یک آزمایش نمونه

ابتدا ورودی (e.g.: Input Dial) را از منوی مربوط انتخاب می کنیم. نوع فیدبک (e.g.: Position) را برمی گزینیم. با اجرای برنامه، سیگنال از طریق کارت DAQ به دستگاه سروو موتور اعمال می شود و سیگنال خطا و نیز خروجی به برنامه بر می گردد. این سیگنالها روی اسیلوسکوپ قابل رؤیت هستند. در دستگاه واقعی خروجی، ورودی را دنبال می کند. در محیط برنامه نیز با تغییر پیچ Input Dial پتانسیومتر خروجی نیز به همان اندازه تغییر و ورودی را کاملاً دنبال می کند (شکل ۵).



شکل ۵: کنترل زمان حقیقی دستگاه سروو آموزشی

#### ۶. کنترل از راه دور از طریق شبکه

طراحی یک فرایند از راه دور و تحت شبکه یا web نیازمند نرم‌افزارهایی است که دارای خصوصیات زیر باشند:

- سرعت و دقت زیاد در پردازش و انتقال داده‌ها؛
  - امنیت در پردازش و انتقال داده‌ها؛
  - سادگی در نصب و استفاده کاربر از آن؛
  - قیمت مناسب و سهولت در به‌دست آوردن آن
  - دارا بودن نمای ترسیمی مناسب برای کاربر؛
  - سهولت در بازنویسی و تغییر برنامه متناسب با شرایط جدید.
- در این خصوص، می‌توان از زبانهای برنامه نویسی مختلف مثل ++C ، Visual basic ، Pascal (Delphi) ، MATLAB و LabVIEW نام برد. انتخاب LabVIEW در بین

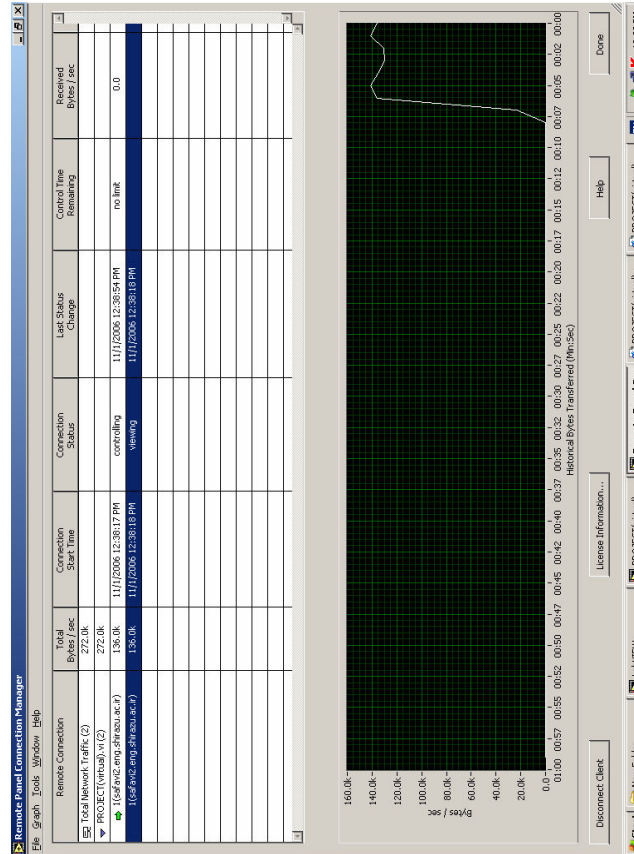
نرم افزارهای یادشده بدین دلیل بوده است که در مقایسه با بقیه آنها به طور نسبی مجموعه‌ای از خصوصیات مورد نظر را دارد و نیز دارای خصوصیات زیر است:

- صنعتی بودن
- درک آسان به دلیل داشتن زبان ترسیمی روان
- امکان برقراری ارتباط آسان با شبکه و اینترنت از طریق روشهای مختلف مانند Web Servering, Web Publishing, Data Socketing
- امکان برقراری ارتباط آسان با کارتهای تبادل داده
- Moduleها و Toolboxهای آماده برای انجام دادن کارهایی خاص مانند انتقال داده به روشها و پروتکلهای مختلف ارسال داده و بسیاری از کارهای دیگر که کار برنامه‌نویس صنعتی را بسیار ساده می‌کند.

در این قسمت از تشریح بیشتر موضوع خودداری و تنها به این نکته اکتفا می‌شود که با توجه به محیطهای کنترل مجازی و کنترل حقیقی به سادگی امکان دسترسی به امکانات یادشده از طریق شبکه مهیاست. در شکلهای ۶ و ۷ به ترتیب نماهایی از گزارش صفحه سرور و صفحات مربوط به کامپیوتر کاربر از راه دور (از طریق شبکه) که توسط روش Web Publishing اجرا شده، نشان داده شده است. در مرجع ۱۴ به طور کامل تر روشهای مختلف کنترل و نظارت از طریق شبکه به کمک نرم افزار LabVIEW ارائه شده است.

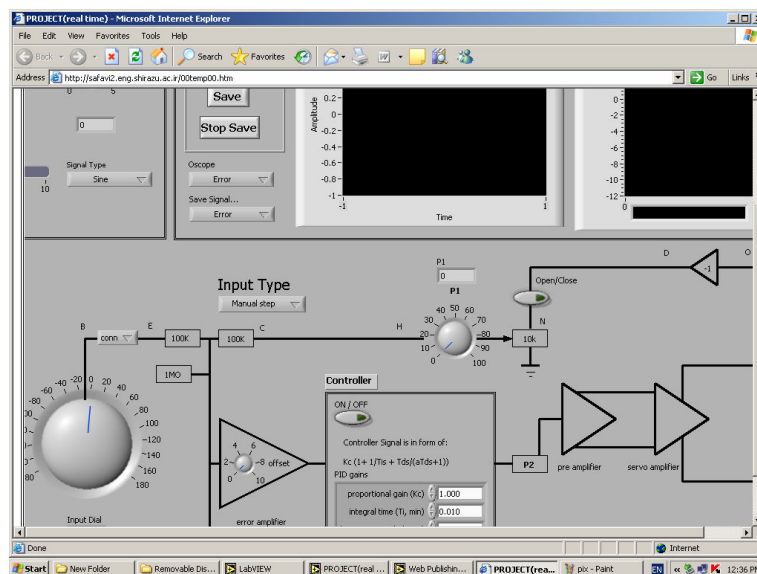
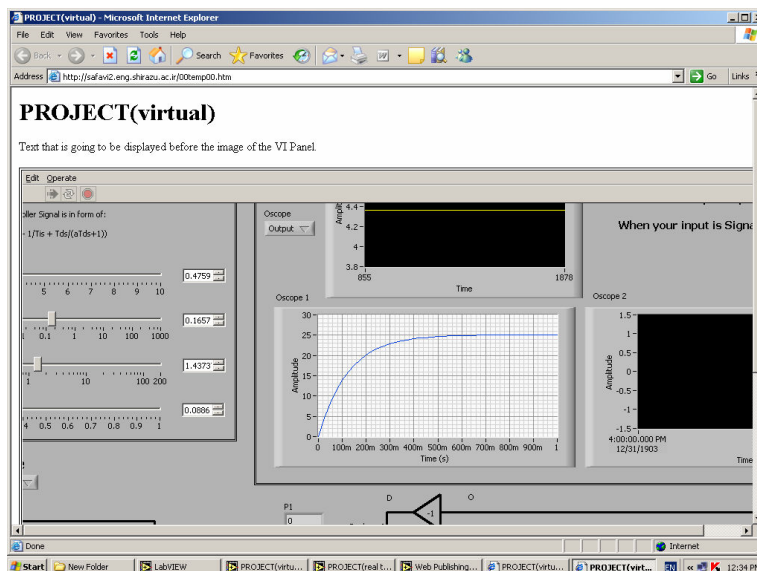
---





شکل ۶: نمای سمت سرور از گزارش کاربران متصل به سرور از طریق شبکه

۷۴ اولین آزمایشگاه مجازی و از راه دور ایران برای مهندسان کنترل . . .



شکل ۷: نمایی از سمت کامپیوتر کاربر متصل به سرور از طریق شبکه که مشغول اجرای کنترل زمان حقیقی است.

## ۷. نتیجه گیری

در این مقاله ابتدا تاریخچه و مفاهیم مرتبط با سیستمهای کنترل مجازی و از راه دور مورد بررسی قرار گرفت. سپس، اهمیت محیطهای مجازی و زمان حقیقی در تحصیل، آموزش و پیشرفت آزمایشگاههای مجازی و کنترل از راه دور بیان شد. در ادامه، چگونگی ایجاد یک محیط شبیه سازی شده، کنترل مجازی، زمان حقیقی و از راه دور یک فرایند آموزشی مورد استفاده برای آزمایشگاه درس کنترل خطی مربوط به دانشجویان کارشناسی گرایشهای مختلف مهندسی برق و مثالهایی از نحوه کاربرد آن ارائه شد. این تحقیق می تواند زمینه راه اندازی آزمایشگاههای مجازی و از راه دور اغلب آزمایشگاههای دوره کارشناسی در دانشگاهها را فراهم سازد.

## مراجع

1. Murray, R.M., 2002, <http://www.cds.caltech.edu/~emurray/cdspanel/report/cdspanel-15aug02.pdf>
  2. Safavi, A.A., "Web-Based Control and Monitoring Systems: The New Challenge", *Proceeding of 12<sup>th</sup> Iranian Conference on Electrical Engineering*, Vol. 1, Mashad, Iran, pp. 119-125, May, 2004.
  3. Schmid, C., The Virtual Lab VCLAB for education on the Web, in Proc. American Control Conf., Philadelphia, PA, pp. 1314-1318, 1998.
  4. Casini, M, D. Prattichizzo and A. Vicino The Automatic Control Telelab, *IEEE Control Systems Magazine*, pp. 36-44, 2004, June 2004.
  5. Henry, J. Engineering Lab Web Resource Center, 2003. [Online]. Available: <http://chem.engr.utc.edu>
  6. Ko, C.C. , B.M. Chen, J. Chen, Y. Zhuang and K.C. Tan, *Development of a web-based Laboratory for Control Experiments on a coupled Tank Apparatus*, *IEEE Transactions on Education*, 44(1), pp. 76-86, 2001.
  7. Shaheen, M., K. Loparo and M. Buchner, Remote laboratory Experimentation, Proc. American Control Conf., Philadelphia, PA, pp. 1314-1318, 1998.
  8. Knight, C.D. and S.P. DeWeerth, World Wide Web-based Automatic Testing of Analog Circuits, in Proc. 1996 Midwest Symp. Circuits and Systems, Ames, IA, 1996, pp. 295-298, 1996.
  9. ECOSSE, 2005, <http://eweb.chemeng.ed.ac.uk/courses/control/course/map/intro.html>
-

10. VCLab, 2005, <http://www.esr.ruhr-uni-ochum.de/VCLab/main.html>
11. Yang, S.H., X. Chen & J.L. Alty, Design Issues and Implementation of Internet-Based Process Control Systems, Control Engineering Practice, 11, pp. 709-720, 2003.
12. Yu, O., Bo Chen and Harry H. Cheng, Web-based Control System Design and Analysis, IEEE Control Systems Magazine, June, pp. 36-44, 2004, <http://www.softintegration.com/webservices/control/>
13. Ogata, Katsuhiko, Modern Control Engineering, 4th. Ed, 2002.
۱۴. س.ع. ا. صفوی، ا. کیخا، ب. جلائیان، غ. منتصری، م. اسدی، ص. صالحی و م. معتمدی، " کنترل و نظارت از طریق وب به کمک LabVIEW"، پانزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، اردیبهشت ۱۳۸۶.
15. A. Safavi, 'E-Learning Programs for Developing Countries, Vol. 5, No. 1, 2007, of the Iranian Journal of Information System and Technology (To be printed in Jan. 2007).
16. A.A. Safavi, M. Bawaghar and H. Ghaffari, "An Introduction to Standards and Criteria for Digital Contents", Electronic Learning Conference, Zanjan University, Zanjan, Iran May 2006.
17. Merrick, C.M. and J.W. Ponton, The ECOSSE Control Hypercourse, Comput. Chem. Eng., Vol. 20, sup., No. 972, pp. S1353-S1358, 1996.

---

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۵/۸/۲۹)

(تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۵/۱۰/۱۶)