بررسی نظام‌مند دستاوردها، مزایا و محدودیت‌های استفاده از آزمایشگاه‌های مجازی و از راه دور در آموزش مهندسی

زهرا اکبری پردنجانی[۱] و کیوان صالحی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۲۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۳۰

DOI: 10.22047/ijee.2022.342948.1913

چکیده: امروزه آزمایشگاه‌های مجازی، نقش ویژه‌ای در آموزش یادگیری دارند. با توجه به اهمیت روزافزون آزمایشگاه‌های مجازی و آموزش مهندسی و شناخت ناکافی درباره دستاوردهای استفاده از آزمایشگاه‌های مجازی و از راه دور در آموزش مهندسی، این مطالعه در دستور کار قرار گرفت. از این‌رو در یک بررسی نظام‌مند، بر اساس دستورالعمل موارد ترجیحی در گزارش مقاله‌های مروری منظم و فراتحلیل‌ها (پریزما) مقالات فهرست‌بندی‌شده در پایگاه‌های داده اسکوپوس، گوگل اسکولار و ساینس دایرکت در بازه زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۲، با استفاده از ترکیب کلیدواژه‌های "آزمایشگاه مجازی" یا "محیط‌های یادگیری با واقعیت ترکیبی" یا "آزمایشگاه‌های واقعیت مجازی" و "نتایج" و "آموزش مهندسی" یا "مهندسی" و مزایا و محدودیت‌ها یا آزمایشگاه‌های واقعیت مجازی مورد بررسی قرار گرفتند. یافته‌ها به شناسایی ۱۲ دستاورد، هفت مزیت و شش محدودیت استفاده از آزمایشگاه‌های مجازی و از راه دور در آموزش مهندسی منجر گردید. بر اساس یافته‌ها، نتایج حاکی از آن است که در آینده نزدیک، آزمایشگاه‌های مجازی به طور گسترده‌ای تقریباً در تمام زمینه‌های آموزشی مورد استفاده قرار خواهند گرفت. همچنین نتایج، کمبود رویکردهای نظری و روش‌شناختی متنوعی را نشان می‌دهد که در آن مطالعات اساساً ارزیابی و به طور محدود بر تغییرات فردی در دانش محتوا متمرکز شده‌اند. استفاده بهینه از دستاوردها، مزایا و محدودیت‌های شناسایی‌شده، می‌تواند ضمن کسب آمادگی و هم‌راستایی با الزامات آینده و آینده‌نگری، به بهبود فضای موجود کمک نماید.

واژگان کلیدی: آینده‌پژوهی، آزمایشگاه مجازی، آزمایشگاه از راه دور، آموزش مهندسی، دستاوردها، مزایا، محدودیت‌ها

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آموزش مهندسی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تهران، ایران. zahra.akbari.7193@ut.ac.ir

۲- دانشیار بخش تخصصی پژوهش و سنجش، دانشکده روان‌شناسی و علوم‌تربیتی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول). keyvansalehi@ut.ac.ir

۱. مقدمه

آموزش مهندسی به طور سنتی، سنگر آموزش محتوامحور، عملی و طراحی محور با تمرکز ویژه بر توسعه مهارت‌های تفکر تحلیلی است (Bourne at al, 2019) چندین ابزار و روش، مانند یادگیری فعال (Lima at al, 2017)، یادگیری مبتنی بر پروژه (Mills & Treagust, 2003)، کلاس درس معکوس (Bishop & Verleger, 2013) برای کمک به بهبود آموزش و اثربخشی آموزش آنها در دسترس اساتید هستند.

در دهه گذشته، آموزش برخط به عنوان ابزاری مهم و راهبردی اثربخش مورد استفاده وسیع قرار گرفته است. اگرچه آموزش برخط مزایای خود را دارد، اما معمولاً با نگرانی‌هایی همراه است که ممکن است به مقاومت از سوی اساتید و دانشجویان بیانجامد (Vivolo, 2016) بدیل یک دوره کلاسی معمولی به یک قالب برخط، زمان‌بر بوده و به تلاش قابل توجهی از سوی اساتید و همچنین آشنایی با ابزارهای موجود نیازمند است (Asgari et al., 2020). یکی دیگر از موارد اختلاف، مشکل در تضمین یک نظام ارزیابی برخط منصفانه و شفاف است که خطر تقلب یا سرقت ادبی را به حداقل رساند (Lee-Post & Hapke, 2017). از دیدگاه دانشجو، اکثریت ترجیح می‌دهند مفاهیم پیچیده را در یک محیط کلاس درس بیاموزند و معتقدند که آموزش برخط سطح عمیق یادگیری را تسهیل نمی‌کند (Holzweiss et al., 2014).

با شیوع همه‌گیری کووید -۱۹، چرخشی غیرمنتظره در رویدادها شکل گرفت و اساتید را در سراسر جهان وادار کرد تا بدون توجه به موضعشان در مورد آموزش برخط یا سطح آمادگی و آشنایی‌شان با آن، به یکی از عناصر نظام آموزشی کاملاً برخط تبدیل شوند. پرواضح است برای موفقیت‌آمیز شدن این انتقال، به اقدامات مؤثر و زمان زیادی نیاز است. از این رو، ضرورت دارد روش‌های آموزشی و روش‌های ارزشیابی، دائماً در حال توسعه یا پیاده‌سازی باشند (Dhawan ,2020; Ahmady et al.2020).

مانند بسیاری از صنایع جهانی، آموزش برخط به دلیل تأثیر فناوری اطلاعات در نیم‌قرن گذشته تحول چشمگیری داشته است. آموزش عالی در هر دو سطح کارشناسی و کارشناسی ارشد شاهد نوآوری قابل توجهی در وسایلی است که از طریق آن تدریس می‌شود. این در حالی است که سازوکارهای سنتی ارائه، مانند سخنرانی‌ها، آزمایشگاه‌هایی که شامل تجهیزات واقعی و امتحانات کلاسی هستند، هنوز به میزان قابل توجهی در آموزش عالی به کار می‌روند. این سازوکارها در حال تکمیل یا جایگزینی با ابزارهای پیشرفته فناوری، مانند پخش برخط سخنرانی‌ها، امتحانات برخط زمان‌بندی‌شده و جایگزینی هستند.

آزمایشگاه‌های مجازی که محیط‌های برخط تعاملی را برای انجام آزمایش‌های شبیه‌سازی‌شده فراهم می‌کنند (Jara, 2011)، به عنوان ابزاری برای ارتقای کیفیت آموزش و در عین حال توجه به ترجیحات یادگیری فردی دانشجویان عمل می‌کند. به عنوان مثال، از طریق آزمایشگاه‌های سنتی ممکن است دانشجویان از نظر جغرافیایی به مکان کلاس درس محدود شوند، در حالی که ارائه درس به صورت برخط، نه تنها چنین محدودیت‌هایی را از بین می‌برد، بلکه به دانشجویان امکان می‌دهد با کمینه‌سازی رفت‌وآمدها، در زمان خود صرفه‌جویی و یادگیری خود را در یک برنامه کاری شلوغ با

خانواده و محل کار مدیریت کنند.

با توجه به مقیاس‌پذیری رسانه‌های مدرن، مدرسان می‌توانند آموزش را با تلاش کمتری برای تعداد زیادی از دانشجویان ارائه دهند. در نتیجه، می‌توان با مدیریت و متناسب‌سازی ارائه درس، هزینه‌های تحصیل را به ازای هر دانشجو، کاهش داد، به‌گونه‌ای که دانشجویان می‌توانند سخنرانی‌ها را به عقب برگردانند یا تکرار کنند، در حالی که بدون از دست دادن مسیر سخنرانی‌ها، به منابع دیگر در اینترنت دسترسی دارند.

تا قبل از این تحولات، سرچشمه علم، غالباً با محوریت آن چیزی بود که در کتاب‌ها، منتشر می‌شد. این امر دنیای آموزش را بسیار محلی و محدود کرد تا فارغ‌التحصیلان آینده دانشگاه درگیر سبک زندگی کشورهای دیگر شوند. بنابراین عنصری که تفاوت دوره‌های تحصیلی دوره‌های مختلف را مشخص کرده است، دقیقاً دسترسی، مدیریت و استفاده از اطلاعاتی است که دانشجویان توانسته‌اند به آنها دسترسی داشته باشند. از زمان شکل‌گیری پیشرفت‌ها در حوزه دیجیتال، با استفاده از منابع دیداری، شنیداری و جمع‌آوری داده‌ها، ارائه آموزش پیشرفته‌تری فراهم شد علاوه بر این، ارتباط با افراد دیگر در سراسر جهان آسان شد. بنابراین، آنچه در زمان و مکان معینی اتفاق افتاد، زمانی که به آن آگاهی رسید، به یک واقعیت تاریخی تبدیل شد (Hofstein et al., 2004).

امروزه وقایع آن‌قدر سریع اتفاق می‌افتند که ذهن انسان باید طوری برنامه‌ریزی شود که هر چیزی را که در «اینجا و اکنون» اتفاق می‌افتد، درک کند. علم و فناوری با سرعتی متحیرکننده‌ای در حال تغییر است. این پویایی جدیدی است که تمامی عرصه‌ها و فعالیت‌های جهان را به حرکت و تحول درمی‌آورد. دنیای آموزشی نه تنها از این قاعده مستثنی نیست، بلکه به دلایل ماهیتی، کارکردی و ساختاری که در جوامع امروزی دارد، به شدت از این دگرگونی‌ها اثر پذیرفته و در توسعه آن و به ویژه توسعه فناوری‌ها تأثیرگذار است. توسعه فناوری، مفاهیم فاصله، زمان و مکان را تغییر داده و جای خود را به شیوه‌ها و واقعیت‌های جدید در هر رشته دانشگاهی و شاخه‌ای از دانش داده است (Au-Yong-Oliveira, 2018). این پدیده، با مثال‌های زیادی در دانشگاه‌های سراسر جهان، نظیر اسپانیا (García-Peñalvo, 2018)، پرتغال (Moreira, 2017)، کره جنوبی (Kang, 2017) و عربستان سعودی (Alshuwaikhat, 2016)، نشان داده شده است. بنابراین، توسعه فناوری (عمدتاً اینترنت، ارتباطات از راه دور و حتی شبکه‌های اجتماعی) گامی به سوی یک پدیده جهانی است که ما را در یک واقعیت مجازی یا فیزیکی مشترک ادغام و متصل کرده است (Aparicio-Martínez, 2017). این فرایند به عنوان جهانی شدن شناخته می‌شود.

آموزش در فرایند جهانی‌شدن، ادغام شده و با پیشرفت‌های فناورانه، در قالب‌هایی نظیر یادگیری الکترونیکی، یادگیری سیار، یادگیری بازی و یادگیری همه جا، تبلور یافته و به پشتوانه مهمی برای فرایندهای آموزشی فعلی تبدیل شده است (Ramirez, 2018). از این رو، بسیاری از مؤسسات آموزشی

مجبور شده‌اند فرایندهای آموزشی و به ویژه برنامه‌های درسی خود را بر اساس استفاده از این فناوری‌های جدید توسعه دهند. این امر به رغم ایجاد پیچیدگی‌هایی، زمینه‌ساز مفیدتر و به‌صرفه‌تر شدن فرایندهای یاددهی-یادگیری را فراهم ساخته است.

پایداری دانشگاه‌ها یکی از نقاط عطف توسعه آینده آنها است و تا حد زیادی به تعداد دانشجویانی که می‌توانند در آنها ثبت‌نام کنند، بستگی دارد. از مهم‌ترین نیازمندی‌ها برای توسعه و پرورش شایستگی‌ها در فارغ‌التحصیلان جدید، به ویژه در مهندسی و فناوری، این است که امکانات و شرایطی مهیا شود تا آنها بتوانند ضمن دسترسی راحت برای انجام آزمایش‌ها، با تحلیل و پیاده‌سازی نتایج آزمایشی، به استفاده عملی از خلاقیت برای بهبود فرایندها پرداخته، بر دانش، فنون، مهارت‌ها و ابزارهای مورد نیاز رشته‌های خود تسلط یافته و به عنوان یک گروه به ارتقای مهارت‌های ارتباطی دست یابند و به طور مؤثری در کنار هم فعالیت داشته باشند (Bermejo, 2005). اثربخشی آموزش علم و فناوری بر آزمایش دانشجویان در آزمایشگاه استوار است، جایی که مدل‌های نظری بررسی و به آموزش، جهت‌گیری عملی داده می‌شود (Sabdu, 2018) دو نوع اصلی از آزمایشگاه‌ها وجود دارد: آزمایشگاه‌های سنتی یا معمولی (آزمایشگاه‌های واقعی) و آزمایشگاه‌های غیرسنتی یا شبیه‌سازی که شامل آزمایشگاه‌های مجازی می‌شوند. در قالب یک سؤال و مطالعه‌ای اسنادی می‌توان به دنبال توسعه این طبقه‌بندی بود، اینکه آیا می‌توان به گونه‌ای مجازی به این آزمایشگاه‌ها دسترسی پیدا کرد یا از راه دور با آنها ارتباط برقرار کرد؟ (Heradio, 2016).

آزمایشگاه‌های مجازی را بر اساس کاربرد می‌توان به چهار نوع ۱. آزمایشگاه‌های از راه دور، ۲. آزمایشگاه‌های مبتنی بر شبیه‌سازی یا مدل‌سازی، ۳. آزمایشگاه‌های مبتنی بر اندازه‌گیری و ۴. فضاهای واقعیت مجازی تقسیم کرد. در ادامه، هر یک به اختصار توصیف می‌شود.

آزمایشگاه‌های از راه دور[1]: به آزمایشگاه‌هایی اطلاق می‌شود که یادگیرنده می‌تواند از مکان‌های دوردست، به آن دسترسی داشته باشد و از طریق اینترنت، آزمایش‌هایی را انجام دهد. در این آزمایشگاه‌ها، کاربر می‌تواند یک آزمایش واقعی را روی یک قطعه یا سخت‌افزار واقعی آغاز کند. نتیجه آزمایشی که از راه دور انجام شده است، از طریق اینترنت به یادگیرنده منتقل می‌شود. این دسته از آزمایشگاه‌های مجازی، خروجی آزمایش‌ها را بی‌درنگ را در اختیار کاربران قرار می‌دهند. معمولاً قبل از اجرای این آزمایش‌ها، بازه‌های زمانی ذخیره می‌شوند. تعداد زیادی از این آزمایشگاه‌ها، اطلاعات اضافی مانند پخش صوتی و تصویری یک آزمایش واقعی و تجهیزات آزمایشگاهی را به فراگیران ارائه می‌دهند. (Safavi et al.,2007)

آزمایشگاه‌های مبتنی بر شبیه‌سازی یا مدل‌سازی[2]: در این آزمایشگاه‌های آموزشی مجازی، از معادلات

1- Remote laboratory
2- Simulation-based laboratory

ریاضی برای مدل‌سازی آزمایش‌ها استفاده می‌شود. شبیه‌سازی‌ها از راه دور در یک سرور رده‌بالا اجرا می‌شوند و نتایج از طریق اینترنت به کاربران منتقل می‌شود. این دسته از آزمایشگاه‌های مجازی، در بهترین حالت، سناریوها و آزمایش‌های دنیای واقعی را تقلید می‌کنند. آزمایشگاه‌های مجازی مبتنی بر شبیه‌سازی، مقیاس‌پذیر هستند و می‌توانند به تعداد زیادی از کاربران هم‌زمان پاسخ دهند. در برخی از دروس از جمله مهندسی مایکروویو (Memarian,2021) و میدان‌ها و امواج (Memarian, 2021) تمرین‌هایی به دانشجویان داده می‌شود که مسئله‌ای را شبیه‌سازی کنند.

آزمایشگاه‌های مبتنی بر اندازه‌گیری[1]: این آزمایشگاه‌ها داده‌های اندازه‌گیری مربوط را برای آزمایشی که قبلاً روی یک سامانه واقعی انجام شده بود، ارائه می‌کنند. این آزمایشگاه‌ها نسبت به آزمایشگاه‌های مبتنی بر شبیه‌سازی به آزمایش‌های «دنیای واقعی» نزدیک‌تر هستند، زیرا داده‌های اندازه‌گیری را از تجهیزات واقعی به یادگیرندگان تحویل می‌دهند.

فضاهای واقعیت مجازی[2]: به اختصار وی‌آر، یک تجربه شبیه‌سازی شده است که می‌تواند مشابه یا کاملاً متفاوت از دنیای واقعی باشد. کاربردهای واقعیت مجازی شامل سرگرمی (مثلاً بازی‌های ویدئویی)، آموزش (مثلاً آموزش پزشکی یا نظامی) و تجارت (مثلاً جلسات مجازی) است. انواع متمایز دیگر فناوری به سبک وی‌آر شامل واقعیت افزوده و واقعیت ترکیبی است که گاهی اوقات به عنوان واقعیت توسعه‌یافته یا XR شناخته می‌شود.

آزمایشگاه مجازی را می‌توان به‌عنوان یک محیط تعاملی برای ایجاد و انجام آزمایش‌های شبیه‌سازی‌شده تعریف کرد. بنابراین، از برنامه‌های شبیه‌سازی، با اشیایی که فایل‌های داده‌ای را تشکیل می‌دهند و ابزارهایی که روی این اشیا کار می‌کنند، تشکیل شده است. البته، نمی‌توان همه اقدامات آزمایشگاهی را شبیه‌سازی رایانه‌ای کرد و نمی‌توان تمام مهارت‌های یک شغل زنده را از طریق آزمایش مجازی به دست آورد. در چند دهه گذشته، آزمایشگاه‌های مجازی محبوبیت زیادی پیدا کرده‌اند. آنها نقش‌های حمایتی یا حتی جانشینی را در زمینه آزمایشگاه‌های فیزیکی برعهده گرفته‌اند (Yudhou, 2000). دانشجویان احساس می‌کنند که تجربیات رایانه‌ای نمی‌تواند به طور کامل جایگزین تجربیات فیزیکی آزمایشگاهی شود، اما آنها اذعان کرده‌اند که تجربیات رایانه‌ای می‌توانند نقش مکملی داشته باشند (Flick, 2000). از جمله مزایای اصلی آزمایشگاه‌های مجازی که آنها را پایدارتر می‌کند، می‌توان به ۱. دسترسی مجازی یا راه دور ۲. نزدیکی به تجربیات تعداد بیشتری از دانشجویان، ۳. بدون محدودیت در تعداد فرصت‌ها، ۴. تجربه بدون خطر، ۵. جلوگیری از آسیب تجهیزات در حین یادگیری و نحوه استفاده از آنها، ۶. عدم استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی و ۷. انعطاف‌پذیرتر بودن مکان و زمان تمرین‌ها، اشاره کرد (Gravier, 2008). ازجمله اشکالات اصلی آن می‌توان به مواردی نظیر ۱. آنها تجربه

1- Measurement-based laboratory 2- Virtual reality (VR)

غنی‌سازی مشابه تمرین مستقیم را ارائه نمی‌کنند، ۲. دانشجو ممکن است مانند یک بیننده رفتار کند، ۳. واقعیت آزمایشگاهی را می‌توان تحریف کرد (اگر شبیه‌سازی مناسب در دسترس نباشد) و ۴. از دست دادن مهارت کار گروهی به دلیل فردگرایی بیش از حد دانشجو اشاره کرد (Potkonjak, 2016).

مفاهیم آزمایشگاه‌های فیزیکی و مبتنی بر وب توسط محققان متعددی تعریف شده است. اصطلاح آزمایشگاه فیزیکی به آزمایشگاه‌های سنتی اطلاق می‌شود که دارای تجهیزات فیزیکی هستند (Budhu, 2002) . آزمایشگاه‌های مجازی، سامانه‌های برنامه‌ریزی‌شده‌ای هستند که می‌توانند ویژگی‌ها و فعالیت‌های آزمایش‌های واقعی را که در داخل یک آزمایشگاه واقعی انجام می‌شود، شبیه‌سازی کنند (Harry, 2005). آزمایشگاه‌های مجازی را می‌توان بر اساس ویژگی‌های مختلف نظیر ارائه، درگیری و منبع داده‌ها دسته‌بندی و متمایز کرد. در ادامه ویژگی‌های هر یک به اختصار تشریح شده است.

۱- ارائه: آزمایشگاه‌های مجازی از قالب‌های ناهمگن استفاده می‌کنند که شامل اشیاء چندرسانه‌ای تعاملی است. این قالب‌ها شامل متون، صدا، فرامتن، تصاویر، فیلم‌ها، پویانمایی‌ها و گرافیک است (Budhu, 2002). محیط یادگیری مجازی را می‌توان در وبگاه‌های اینترنتی قرار داد و دانشجویان یا کاربران می‌توانند با واحدهای گرافیکی نشان‌دهنده اشیاء آزمایشی واپایشواپایش و کار کنند. آزمایش‌ها از طریق اینترنت با استفاده از دستگاه‌های ورودی مانند صفحه‌کلید و ماوس انجام می‌شود (Jian-Jun et al., 2005). در یک آزمایشگاه مجازی، آزمایش‌ها به طور جزئی یا کامل با استفاده از رایانه، شبیه‌سازی و پویانمایی‌ها انجام و واپایشواپایش می‌شوند. اخیراً با استفاده از دستگاه‌های تلفن همراه قابل استفاده هستند (Frank, 2007) . در چنین آزمایشگاه‌هایی، آزمایش‌ها از طریق مدل‌های گرافیکی آزمایش واقعی مشاهده می‌شوند. کاربر می‌تواند فرایند و نتیجه نهایی را از طریق پویانمایی‌ها مشاهده کند. سامانه‌های واقعیت مجازی (VRS) از ایجاد ابزارهایی پشتیبانی می‌کنند که به دانشجویان اجازه می‌دهد محیط‌های آموزشی را بر روی رایانه‌های خود شبیه‌سازی کنند.

۲- درگیری: مدل‌های مختلف آزمایشگاه‌های مجازی در واقعیت متفاوت هستند (Budhu, 2002). انواع و سطوح آزمایشگاه مجازی شامل به‌اشتراک‌گذاری نرم‌افزار، اشتراک تجهیزات و آزمایشگاه‌های واپایشواپایش از راه دور می‌باشد. در نوع اشتراک‌گذاری نرم‌افزار، نرم‌افزار شبیه‌سازی محلی توسط سرور به اشتراک گذاشته می‌شود. دستورات کاربران را پردازش می‌کند و نتایج آزمایش را گزارش می‌دهد. نوع اشتراک ابزار شامل دستورات کاربران برای واپایش ابزارهایی است که آزمایش را انجام می‌دهند. نرم‌افزار به تحلیل نتایج کمک می‌کند. در آزمایشگاه مجازی واپایش از راه دور، کاربران می‌توانند روند آزمایش را واپایش کنند. با این حال، این نیاز به تعامل زمان واقعی بیشتری بین کاربر و سامانه دارد جیان جون (Jian Jun، 2005) توانایی آزمایشگاه مجازی برای تکرار واقعیت می‌تواند بر سطح درگیری، یا احساس «آنجا بودن» تأثیر بگذارد (Gardner et al., 2014) در اینجا، درگیری هنوز نسبتاً کم است، اما تعامل افزایش‌یافته است، زیرا کاربران می‌توانند ابزارها و اجزای فیزیکی را دست‌کاری می‌کنند. محیط‌های

مجازی که حس «در کنار هم بودن» را ترویج می‌کنند، امکان یک واقع‌گرایی مشترک یا حضور مشترک در MUVEها را فراهم می‌کنند. سامانه‌های واقعیت مجازی (VRS) از ایجاد ابزارهایی پشتیبانی می‌کنند که به دانشجویان اجازه می‌دهد محیط‌های آموزشی را بر روی رایانه‌های خود شبیه‌سازی کنند. چنین سامانه‌هایی به طور بالقوه می‌توانند درگیری بسیار بالاتری را ارائه دهند، اما تا به امروز توسعه و استقرار چنین سامانه‌هایی بسیار بالا است. با فراگیرتر شدن بازی‌های رایانه‌ای، قابلیت دسترسی را افزایش و هزینه چنین سامانه‌هایی ممکن است کاهش یابد.

۳- منبع داده: بر اساس داده‌های مورد استفاده برای آزمایش، مجازی‌سازی آزمایش‌ها را می‌توان به عنوان مبتنی بر شبیه‌سازی عددی، مبتنی بر داده‌های اندازه‌گیری، مبتنی بر داده‌های زمان واقعی، مبتنی بر راه‌اندازی از راه دور، مبتنی بر واپایش از راه دور و مبتنی بر ترکیبی طبقه‌بندی کرد (Tiwari & Singh, 2011) در حالی که شبیه‌سازی عددی صرفاً نظری است، مجازی‌سازی مبتنی بر داده‌های اندازه‌گیری، احساس واقعی آزمایش را ارائه می‌دهد. مبتنی بر قابلیت سامانه برای گنجاندن ترکیبات مختلفی از عامل‌های ورودی برای تکرار محیط آزمایش واقعی است. در مجازی‌سازی با داده‌های زمان واقعی از آزمایش‌های واقعی بر اساس زمان واقعی استفاده می‌کند. کاربر هیچ واپایشی بر آزمایش ندارد، جدا از این واقعیت که داده‌ها را به صورت برخط جمع‌آوری می‌کند. مجازی‌سازی مبتنی بر واپایش از راه دور شبیه به نوع مبتنی بر زمان واقعی است، اما کاربر این قابلیت را دارد که آزمایش را آغاز کند. مجازی‌سازی مبتنی بر واپایش از راه دور به کاربر انعطاف بیشتری برای راه‌اندازی و واپایش آزمایش می‌دهد که احساس بهتری از آزمایش واقعی به کاربر می‌دهد. طراحی این سامانه پرهزینه‌تر است و ممکن است شامل حرکت فیزیکی و دست‌کاری اشیاء باشد. افزایش مقیاس دشوار است زیرا فقط یک نفر می‌تواند در یک‌زمان از آن استفاده کند. هدف مجازی‌سازی مبتنی بر ترکیب، ترکیب ویژگی‌های مثبت همه سامانه‌های ذکرشده را دارا است (Tiwari & Singh, 2011).

رشته‌های مهندسی، بر آزمایش‌های فیزیکی متکی هستند (Sanchez, 2005) بنابراین، بخش قابل توجهی از برنامه درسی برای دانشجویان مهندسی شامل جلسات آزمایشگاهی است که به کار فیزیکی با تجهیزات وابسته است. کیفیت تصمیم‌گیری و مهارت‌های کار گروهی مهندسان، تابعی از توانایی‌های ایشان در طراحی، تحمل ابهام، داشتن یک دید کلان از سامانه و انعطاف‌پذیری برای مدیریت عدم قطعیت است (Dym, 2005). هدف مهم آموزش فناوری توسعه «تفکر نقاد» است. تفکر نقاد، برآیندی از توانایی تحلیل داده‌ها، ترکیب داده‌ها و ارزیابی مفاهیم است (Gokhale, 2012) بنابراین با توجه به ماهیت عملی حرفه مهندسی و رشته‌های تحصیلی آن که کیفیت عملکرد و ارزش‌آفرینی‌شان تابعی از میزان و کیفیت فعالیت عملی روی مواد و انرژی است، ضرورت دارد تا شرایط توسعه کار در آزمایشگاه‌ها و فعالیت‌های آزمایشگاهی فراهم و این دانش عملی و شایستگی‌های دانشجویان و دانش‌پژوهان آن با انجام آزمایش‌ها در آزمایشگاه‌ها تقویت شود. به طور مثال در سال اول مهندسی برق، دروس و مباحثی

شامل نظریه شبکه، ترانسفورماتورها، مدارهای AC-DC و تولید و استفاده از توان الکتریکی، بخشی مهمی از برنامه درسی به شمار می‌رود که کیفیت ارائه و تحقق اهداف آنها به طور وثیقی به فعالیت‌های عملی در آزمایشگاه‌ها وابسته است.

رابطه آزمایشگاه مجازی و آموزش مهندسی از این جهت منحصربه‌فرد است که آموزش مهندسی، هم یک علم سخت عینی به شمار رفته و هم علمی که اغلب به یادگیری مبتنی بر تمرین با استفاده از تجهیزات فیزیکی نیاز دارد (Feisel, 2005) سنجش کیفیت آموخته‌ها و عملکرد دانشجویان در رشته‌های مرتبط با مهندسی مستلزم نشان‌دادن توانایی خود در استفاده صحیح از تجهیزات برای انجام آزمایش‌های است. آزمایشگاه‌ها به دانشجویان کمک می‌کنند تا با مقایسه انواع قرائت‌ها با مدل‌های نظری، درکی صحیحی از ساختارهای پیچیده را با استفاده از آزمایش‌هایی که امکان خواندن در سامانه‌های واقعی را فراهم می‌کند، به دست آورند. همچنین تمرینات آزمایشگاهی عملی، زمانی که دانشجویان به‌صورت گروهی برای یادگیری آزمایش‌ها با یکدیگر همکاری می‌کنند، به ارتقای کیفیت تعاملات بین‌گروهی و افزایش علاقه‌مندی ایشان به موضوع آزمایش منجر می‌شود. به عبارت دیگر، تمرین‌های عملی آزمایشگاهی در مهندسی، زمینه‌ای فراهم می‌کند تا دانشجویان مهارت‌های مورد نیاز برای استفاده از تجهیزات در دنیای واقعی را کسب کنند. این آزمایشگاه‌ها می‌توانند علاوه بر آموزش، در فعالیت‌های مرتبط با تحقیق و توسعه مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آزمایشگاه‌های توسعه برای جمع‌آوری داده‌های تجربی و طراحی، توسعه، آزمایش و ارتقای محصولات استفاده می‌شود. پرواضح است که طراحی یا توسعه محصولات خاص، هدف اولیه یا فوری در آزمایشگاه‌های آموزشی نیست، بلکه دانشجویان مهندسی از آزمایشگاه‌ها عمدتاً برای اهداف آموزشی استفاده می‌کنند (Feisel, 2005).

۲. بیان مسئله

مروری بر تجارب استفاده از آزمایشگاه مجازی در آموزش مهندسی نشان داد که آزمایشگاه‌ها بخش مهمی از آموزش مهندسی هستند. با پیشرفت فناوری‌ها، قابلیت‌های آزمایشگاه‌ها نیز افزایش یافته است. آزمایشگاه‌ها اساساً برای اجازه‌دادن به آزمایش در یک محیط واپایش‌شده وجود دارند، یا به یک معنا، آزمایشگاه‌ها به مهندسان فرصت لازم برای تمرین را فراهم می‌سازد به‌گونه‌ای که به بهبود اثربخشی فرایند یاددهی- یادگیری کمک می‌کند. این نگرانی وجود دارد که یادگیری برخط ممکن است با همکاری تداخل داشته باشد که می‌تواند بر اثربخشی یادگیری تأثیر بگذارد.

در حالی که دانشگاهیان چندین نوع مختلف آزمایشگاه را تعریف کرده‌اند، دیگران اذعان کرده‌اند که با پیشرفت فناوری، ادغام محیط‌های آزمایشگاهی فیزیکی و مجازی و همچنین ادغام اجزای واقعیت مجازی و واقعیت افزوده وجود دارد (Ntinda et al., 2021) تعدادی از مقالات بررسی‌شده اطلاعاتی را ارائه می‌کنند که در مورد مفهوم آزمایشگاه‌های فیزیکی که فناوری بیشتری را در خود جای‌داده و فرصت‌های

یادگیری برخط بیشتری را فراهم می‌کنند، بحث می‌کنند. اهمیت فعالیت‌های یادگیری مشارکتی برای آموزش مهندسی و اثربخشی فعالیت‌های یادگیری مشارکتی بر پیشرفت دانشجویان به خوبی مستند شده است. در حالی که مبانی نظری مرتبط با یادگیری برخط و انتقال آزمایشگاه‌های سنتی را مورد بحث قرار می‌دهد، این دیدگاه که چگونه یادگیری برخط می‌تواند به طور مناسب جایگزین آزمایشگاه‌های سنتی شود، به خوبی مستند نشده است.

برای درک تأثیرگذار به فعالیت‌های یادگیری برخط بیشتر و تأثیر آن بر آموزش مهندسی، تحقیقات بیشتری مورد نیاز است. در یک آموزش مهندسی، آزمایشگاه‌ها یک هدف آموزشی متمایز را انجام می‌دهند (Cabedo et al., 2018) . همان‌طور که قبلاً ذکر شد، آزمایش‌های آزمایشگاهی از یادگیری با تقویت دانش و مفاهیم حمایت می‌کنند، به دانشجویان کمک می‌کنند مهارت‌های تجربی ازجمله طراحی آزمایشی، مهارت‌های حل مسئله و تحلیل انتقادی، جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل و تفسیر نتایج را توسعه دهند. دلایل آموزشی متنوعی نظیر ظرفیت‌سازی یادگیری مفاهیم تحلیلی، یادگیری ابزارها و توسعه مهارت‌های کار گروهی، آماده‌شدن برای تمرین حرفه‌ای، وجود دارد که استفاده از آزمایشگاه‌ها را تبیین می‌کند. با این حال، پشتوانه نظری محدودی در مورد نتایج یادگیری خاص که از آزمایشگاه‌های آموزشی مهندسی انتظار می‌رود و اینکه چگونه این نتایج به بهترین شکل به دست می‌آیند، وجود دارد. در سال ۱۳۸۶، صفوی در زمینه آزمایشگاه مجازی در رشته مهندسی کنترل، بر ضرورت راه‌اندازی آزمایشگاه مجازی در رشته مهندسی کنترل تأکید کرد. فاطمی نیز در مورد ضرورت طراحی آزمایشگاه میکروکنترلر الکترونیکی و از راه دور نیز پژوهش‌ها و توصیه‌هایی انجام داده‌اند.

به رغم این که زمینه‌سازی برای پرداختن به موضوع آزمایشگاه مجازی، یک مبحث جدید و پرچالش در اکثریت کشورها از جمله ایران است، مستندات پژوهشی نشان می‌دهد که مطالعات اندکی در این زمینه انجام شده است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که غالب مطالعات موجود، بر ضرورت طراحی این آزمایشگاه‌ها در یک رشته خاص اشاره و تأکید داشته و بعضاً در محیط شبیه‌سازی این قبیل فعالیت‌ها را انجام داده‌اند. با توجه به فقدان شناخت کافی درباره دستاوردها، نقاط قوت و محدودیت‌هایی که می‌تواند استفاده از آزمایشگاه‌های مجازی را تبیین کند، این پژوهش درصدد پاسخ به این سؤال است که دستاوردهای استفاده از آزمایشگاه‌های مجازی و از راه دور در آموزش مهندسی چیست و با چه محدودیت‌ها و مزایایی مواجه است؟

۳. روش کار

در این مطالعه، مقاله‌های مرتبط با موضوع در مجله‌های بین‌المللی که به زبان لاتین نگارش شده است، به صورت نظام‌مند انتخاب شده و مورد مطالعه قرار گرفت. بررسی مبانی نظری، مرحله مهمی قبل از انجام هر مطالعه تحقیقاتی است (Al-Emran et al., 2018). این زمینه را برای انباشت دانش

ایجاد می‌کند که به نوبه خود، بسط و توسعه نظریه‌ها را امکان‌پذیر می‌کند، شکاف‌های موجود در تحقیق را می‌بندد و حوزه‌هایی را که تحقیقات قبلی از قلم افتاده است، آشکار می‌کند (Marangunić, 2015). مرور مبانی نظری را می‌توان به عنوان یک مرور منظم پیشینه تنها زمانی در نظر گرفت که مرور بر اساس سؤال‌های تحقیق، صریح باشد، مطالعات پژوهشی مرتبط را تعیین و تحلیل کند و کیفیت آنها را بر اساس ملاک‌های مشخص ارزیابی کند (Khan et al., 2003). در این مطالعه مروری، دستورالعمل‌هایی (Kitchenham & Charters,2007) برای انجام یک بازبینی منظم، علاوه بر رویه‌های سایر بررسی‌های نظام‌مند که انجام شد، دنبال شد (Costa & Monteiro, 2016؛ Zahedi et al., 2016) در آن، بررسی در چهار مرحله مجزا شامل ۱. شناسایی ملاک‌های ورود و خروج، ۲. منابع داده و راهبرد جستجو، ۳. ارزیابی کیفیت، و ۴.کدگذاری و تحلیل داده‌ها انجام شد. جزئیات این مراحل در زیر بخش‌های زیر نشان داده شده است.

۳-۱. ملاک‌های ورود/خروج

در جدول یک، ملاک‌های ورود و خروج مقالاتی که در این مطالعه مورد تحلیل نقادانه قرارگرفت، شرح داده شده است. بنابراین مقاله‌هایی که ملاک‌های ورودی جدول یک را داشتند و از ملاک‌های خروج به دور بودند، مورد مطالعه دقیق قرار گرفت.

جدول ۱. ملاک‌های ورود/خروج

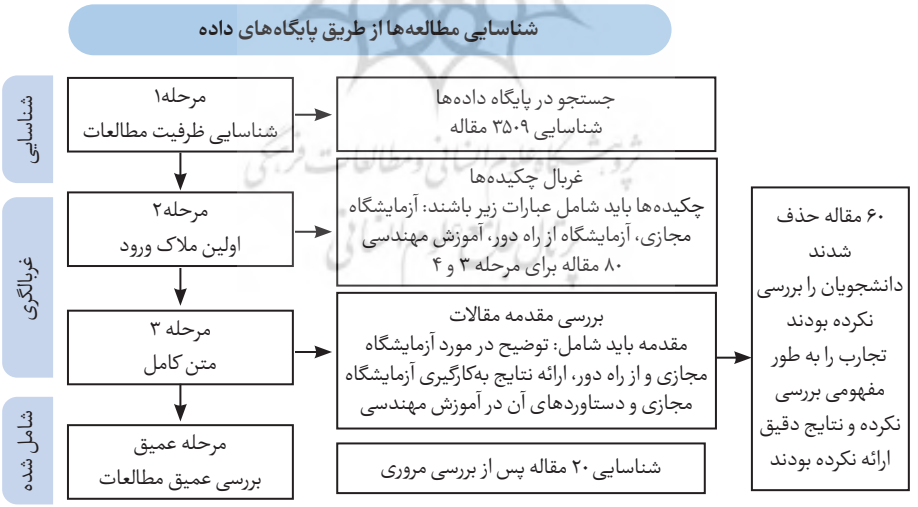
ملاک‌های ورود	ملاک‌های خروج
ـ باید شامل آموزش مهندسی، آزمایشگاه مجازی، آزمایشگاه از راه دور باشد ـ باید به انگلیسی نوشته شده باشد ـ باید شامل دسترسی به تمام متن مقاله باشد	ـ در حیطه آموزش مهندسی نباشد و مطالب و یافته‌ها خارج از موضوع مورد بررسی باشد ـ به زبانی غیر از زبان انگلیسی نوشته شده باشد ـ چکیده آنها فقط در دسترس باشد

۳-۲. منابع داده و راهبرد جستجو

بر اساس دستورالعمل موارد ترجیحی در گزارش مقاله‌های مروری منظم و فراتحلیل‌ها[1] (پریزما؛ PRISMA) مقالات فهرست‌بندی‌شده در پایگاه‌های داده Google Scholar، Scopus و ScienceDirect در بازه زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۲، با استفاده از ترکیب کلیدواژه‌های ((""Virtual laboratory" OR "virtual lab") OR "Mixed-reality learning environments" OR "Virtual reality laboratories") AND ("outcome") AND ("engineering education" OR "engineering")) AND ((benefits, AND limitations"" OR ""Virtual reality laboratories"")) مورد بررسی قرار گرفتند. انتخاب کلمات کلیدی یک گام اساسی در هر مرور منظم است زیرا تعیین می‌کند که کدام مقاله باید بازیابی شود (Costa & Monteiro, 2016).

1- Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyse (PRISMA)

یک مرور چتری[1] به طور نظام‌مند به جمع‌بندی و ارزشیابی نتایج حاصل از چندین مرور نظام‌مند و یا فراتحلیل‌هایی که پیرامون یک موضوع خاص به عمل آمده‌اند، می‌پردازد نتایج اولیه جستجو به شناسایی ۳۵۰۹ مقاله انجامید که با اعمال محدودیت‌ها و استفاده از ملاک‌های خروج، این تعداد به ۸۰ مقاله دارای شرایط ورود و خروج کاهش یافت. پس از بررسی‌های عمیق‌تر، تعداد ۲۰ مقاله که از کیفیت بالا برخوردار بودند، در فرایند تحلیل قرار گرفتند. مراحل جستجو و اصلاح در این مطالعه مروری بر اساس موارد گزارشگری ترجیحی برای مرورهای نظام‌مند فراتحلیل (PRISMA) انجام شد (Moher et al.,2009). شکل ۱ نمودار جریان PRISMA را نشان می‌دهد این مطالعه شامل یک بررسی نظام‌مند و ترکیبی از مقالات تحقیقاتی بررسی‌شده و منتشرشده بین سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۲۲ بود که ابتدا از طریق جستجو در پایگاه‌های داده، گوگل اسکولار، اسکوپوس، ساینس دایرکت شناسایی شدند و سپس بر اساس یک ملاک تعریف‌شده برای گنجاندن انتخاب شدند (Robert, 2006). رویکرد ما استفاده از عناصر پروتکل ارائه‌شده توسط (Khan et al., 2003) بود. با توجه به سؤالات تحقیق ما، شامل شناسایی کار مرتبط، ارزیابی کیفیت مطالعات، جمع‌بندی شواهد تفسیر یافته‌ها بود. مقاله‌ها باید شرایط چهارگانه شامل ۱. مرتبط بودن با موضوع پژوهش ،۲. انتشار بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۲ ،۳. چاپ نهایی مقالات و ۴. لزوم برخورداری مقالات از کلمات کلیدی آزمایشگاه مجازی، آموزش از راه دور، آموزش مهندسی.



شکل ۱. نمودار جریان روش کار (PRISMA)

1- Umbrella review

۳-۳. ارزیابی کیفی

یکی از مراحل اساسی که در کنار ملاک‌های ورود و خروج باید رعایت شود، ارزیابی کیفی است. در پژوهش حاضر پس از بررسی‌های اولیه و مشخص شدن مقالات اصلی، به ارزیابی کیفی پرداخته شد که موارد زیر در آن بررسی شد: ۱- آیا اهداف پژوهش به وضوح مشخص شده است؟ ۲- آیا روش‌های جمع‌آوری داده‌ها به اندازه کافی دقیق هستند؟ ۳- آیا مطالعه قابلیت اطمینان و اعتبار ملاک‌ها را توضیح می‌دهد؟ ۴- آیا نتایج به وضوح مشخص شده‌اند؟ ۵- آیا مطالعه به دانش و درک شما می‌افزاید؟ هر سؤال بر اساس مقیاس سه‌امتیازی امتیازدهی شد که «بله» ۱ امتیاز، «نه» ۰ امتیاز و «تا حدی» ۰٫۵ امتیاز است. از این رو، هر مطالعه می‌تواند بین ۰ تا ۵ امتیاز داشته باشد، که هر چه نمره کل یک مطالعه بالاتر باشد، میزان پاسخگویی این مطالعه به سؤالات تحقیق بالاتر است. جدول ۲ نتایج ارزیابی کیفیت را برای تمام ۲۰ مطالعه نشان می‌دهد. در آن، مشخص است که همه مطالعات ارزیابی کیفیت را پشت سر گذاشته‌اند، که به نوبه خود نشان می‌دهد که همه مطالعات واجد شرایط استفاده برای تحلیل بیشتر هستند.

جدول ۲. ارزیابی کیفی مقالات

مطالعه	نویسنده/ سال	مجله	جامعه/ نمونه آماری	کشور	سؤال ۱	سؤال ۲	سؤال ۳	سؤال ۴	سؤال ۵	کل	درصد
۱	Villar et al., 2012)	IEEE	ش.ب.	اسپانیا	۱	۱	۱	۱	۱	۵	٪۱۰۰
۲	(Reavis et al.,2020)	Science Education and Technology	م.م.	میشیگان	۱	۱	۱	۰/۵	۱	۴/۵	٪۹۰
۳	(Chan, 2009)	the Higher Education Academy	د.م.	هنگ‌کنگ	۱	۱	۱	۱	۱	۵	٪۱۰۰
۴	(Altalbe, 2018)	International Manufacturing Centre	د.م.	آمریکا	۱	۱	۱	۱	۱	۵	٪۱۰۰
۵	(Grodotzki et al., 2018)	Procedia Manufacturing	د.آ.م	آلمان	۱	۱	۱	۱	۱	۵	٪۱۰۰
۶	(Salmerón-Manzano, 2018)	Sustainability	گ.د	اسپانیا	۱	۱	۰/۵	۱	۱	۴/۵	٪۹۰
۷	(De Jong, 2013)	Science	م.م.	کالیفرنیا	۱	۱	۱	۱	۱	۵	٪۱۰۰
۸	(Soliman et al., 2021)	Applied Sciences	م.م.	لندن	۱	۱	۱	۱	۱	۵	٪۱۰۰
۹	(Goodwin et al., 2012)	IEEE Transactions on Education	ش.ب.	استرالیا	۱	۱	۱	۰/۵	۱	۴/۵	٪۹۰

ادامه جدول ۲

۱۰	(Wang, 2018)	Environmental Research and Public Health	م.م.	چین	۱	۱	۱	۱	۱	۵	٪۱۰۰
۱۱	(Altalbe, 2019)	IEEE	ش.ب.	استرالیا	۱	۱	۱	۱	۱	۵	٪۱۰۰
۱۲	(Hernández-de-Menéndez, 2020)	International Journal on Interactive Design and Manufacturing	م.م.	آمریکا	۱	۱	۱	۱	۱	۵	٪۱۰۰
۱۳	(Tatli, 20100)	Procedia Social and Behavioral Sciences	گ.د	ترکیه	۱	۱	۰/۵	۱	۱	۴/۵	٪۹۰
۱۴	(Alkhedher, 2021)	Global Journal of Engineering Education	د.م.	امارات	۱	۱	۱	۱	۱	۵	٪۱۰۰
۱۵	(Muthusamy, 2010)	Asian Journal of Distance Education	م.م.	مالزی	۱	۱	۱	۱	۱	۵	٪۱۰۰
۱۶	(Hernández-de-Menéndez, 2019)	IEEE	م.م.	آمریکا	۱	۱	۱	۰/۵	۱	۴/۵	٪۹۰
۱۷	(Kumar, 2021)	Education for Chemical Engineers	د.آ.م/ د.ش.	دانمارک	۱	۱	۱	۱	۱	۵	٪۱۰۰
۱۸	(Esquembre, 2015)	IFAC	گ.د	اسپانیا	۱	۱	۱	۱	۱	۵	٪۱۰۰
۱۹	(Stefanovic, 2013)	Computers & Education	د.آ.م.	صربستان	۱	۱	۱	۱	۱	۵	٪۱۰۰
۲۰	(Abumalloh, 2021)	Technology in Society	گ.د	مالزی	۱	۱	۰/۵	۱	۱	۴/۵	٪۹۰

د.م.= دانشجویان مهندسی
ش.ب= شبیه‌سازی
د.آ.م.= دانشجویان آموزش مهندسی
م.م= مطالعات مروری
د.ش.= دانشجویان شیمی/ بیوشیمی
گ.د.= گروه دانشجویی

پرتال جامع علوم انسانی

۳-۴. کدگذاری و تحلیل داده‌ها

پس از کدگذاری مقالات و دسته‌بندی موضوعی آموزش مهندسی و کاربرد آزمایشگاه مجازی در آموزش مهندسی و دستاوردهای آن تحلیل توسط محقق انجام شد و نتایج ارائه گردید.

۴. یافته‌های تحقیق

بسیاری از محققان استفاده از آزمایشگاه‌های مجازی را به عنوان وسیله‌ای برای افزایش اثربخشی یادگیری مبتنی بر آزمایشگاه ترویج نموده‌اند. هدف از یادگیری مبتنی بر وب، توسعه و اجرای بیشتر مفهوم دانشگاه مجازی (VU) است. آزمایشگاه‌های مبتنی بر وب به حذف محدودیت‌های زمان و

مکان در یادگیری کمک می‌کنند و از آموزش مهندسی برخط پشتیبانی می‌کنند. آنها تعاملی را بین یادگیرندگان در مکان‌های مختلف ارائه می‌دهند (Budhu, 2002). آنها رابطه بین مفاهیم نظری و کاربردهای عملی آنها را نشان می‌دهند و به ایجاد انگیزه در دانشجویان کمک می‌کنند. آزمایشگاه‌های مجازی به یادگیری مفاهیم علمی کمک می‌کنند و باورهای غلط را برطرف می‌کنند. جدای از انجام آزمایش‌های واقعی، این‌گونه آزمایشگاه‌ها همچنین به توسعه توانایی دانشجویان در تحلیل و تفسیر اطلاعات و داده‌ها، با استفاده از تجهیزات مهندسی مدرن، طراحی آزمایش‌ها و حل مسائل مهندسی کمک می‌کنند. آنها توانایی دانشجویان را برای کار گروهی افزایش می‌دهند (Nickerson, 2007). مبادلات ناهم‌زمان و هم‌زمان ویژگی‌های مشترکی هستند و تعاملات به بهبود انگیزه، تعامل و تسهیل آزمون کمک می‌کند. مراحل فرایند آزمایش آزمایشگاه مجازی ممکن است به طور کلی شامل نوشتن یک پیش‌بینی، انتخاب آزمایش برای آزمایش پیش‌بینی، مشاهده آزمایش، جمع‌آوری داده‌ها در یک محیط تعاملی، انجام تحلیل و درنهایت، پذیرش یا رد یا اصلاح فرضیه باشد. آزمایش‌های از راه دور را می‌توان به تدریج با آماده‌سازی، به دانشجویان معرفی کرد. در مرحله اول، ممکن است از آنها خواسته شود که در درک خود از مفاهیم اساسی، تجهیزات آزمایشی و الزامات آزمایش تجدید کنند. در مرحله بعد، آزمایش تحت نظارت اساتید ممکن است با محدودیت زمانی انجام شود. در مرحله آخر، دانشجویان می‌توانند آزمایش‌های آزمایشگاهی از راه دور را گسترده‌تر انجام دهند (Nickerson, 2007). پس از بررسی موضوع پژوهش در پایگاه‌های داده معتبر و استفاده از نمودار جریان کار موجود در شکل ۱ تعداد ۲۰ مقاله برای بررسی نهایی انتخاب گردیدند که در جدول شماره ۳ اطلاعات مربوط به مقالات گزارش شده است.

جدول ۳. مروری بر مقاله‌های منتخب مورد مطالعه

مطالعه	نویسنده	روش	عنوان مقاله	خلاصه نتایج
۱	(Villar et al., 2012)	ش.ب	Multiplatform virtual laboratory for engineering education	آزمایشگاه مجازی مدولار چندپلتفرمی مستقل شامل دو نمونه خاص از آزمایش‌های سامانه واپایش توصیف شده است. این باعث می‌شود، سرعت پاسخ و ایمنی کلی افزایش یافته، استفاده از منابع سرور کاهش یافته و دسترسی کم به پردیس‌های مجازی مختلف و یا امکان دسترسی به مؤسسات آموزشی مختلف برای بهره‌برداری از آزمایش‌های رفع شود.
۲	(Reavis et al.,2020)	م.ن	Virtual laboratories in undergraduate science and engineering courses	کمبود رویکردهای نظری و روش‌شناختی متنوعی مشاهده می‌شود که در آن مطالعات اساساً ارزیابی و به طور محدود بر تغییرات فردی در دانش محتوا متمرکز شده‌اند. اکثر مطالعات در حوزه کلی علم قرار داشتند و شامل یک تجربه دوبعدی واحد با استفاده از نرم‌افزاری بود که از طیف وسیعی از منابع خارجی به

ادامه جدول ۳

				دست آمده بود. این دیدگاه عمدتاً آزمایشگاه مجازی را یک رویکرد آموزشی فرض می‌کرد که بدون هیچ گونه تعامل انسان به انسان، آموزش ارائه می‌کرد.
۳	(Chan, 2009)	م.م.ک.	Evaluation of learning experiences in virtual laboratory education through student perception: a case study in electrical and electronic engineering at the University of Hong Kong.	الزامات آموزش آزمایشگاهی برای دانشجویان مهندسی همیشه در حال تحول است و مانند معرفی بسیاری از فناوری‌های جدید دیگر، مزایا اغلب با کاستی‌هایی همراه است. با این حال، به طور کلی، آزمایشگاه مجازی می‌تواند برخی از خواسته‌های چالش‌برانگیز در مورد آموزش مهندسی را که توسط صنعت، اقتصاد و جامعه مدرن ایجاد شده است، برطرف کند.
۴	(Altalbe, 2018)	م.آ.	Virtual laboratories for electrical engineering students: student perspectives and design guidelines	توسعه آزمایشگاه‌های مجازی ممکن است به طور قابل‌ت وجهی در استقرار اولیه ابزارهای نرم‌افزاری به عنوان مکمل آزمایشگاه‌های فیزیکی و نه به عنوان یک جایگزین کامل سودمند باشد.
۵	(Grodotzki et al., 2018)	ش.ب	Remote and virtual laboratory for engineering education	مدل ریاضی برای مدیریت ظرفیت بر اساس مدل‌های هزینه‌یابی مختلف ABC و TDABC ارائه و مورد بحث قرار می‌دهد.
۶	(Salmerón-Manzano, 2018)	م.ن.	Sustainability of higher education through virtual laboratories: Spanish university as a case study	تحقیق در آزمایشگاه‌های مجازی یک زمینه بسیار فعال است که در آن بهره‌وری علمی به طور تصاعدی در سال‌های اخیر هم‌زمان با رشد دانشگاه‌ها افزایش یافته است.
۷	(De Jong, 2013)	م.	Physical and virtual laboratories in science and engineering education	گزیده‌ای از ادبیات مربوط به هر دو نوع آزمایشگاه سنتی و مجازی آورده شده و پیشنهاداتی برای یادگیری بهتر و به‌کارگیری آزمایشگاه‌ها ارائه گردیده است
۸	(Soliman et al., 2021)	م.	Application of virtual reality in engineering education	واقعیت مجازی دارای مزایای شناختی و آموزشی مثبت در آموزش مهندسی است، که در نهایت درک دانشجویان از موضوعات، عملکرد و نمرات و تجربه آموزشی را بهبود می‌بخشد. علاوه بر این، از طریق استفاده از VR به عنوان جایگزینی برای آزمایشگاه‌های ۹ فیزیکی، مزایا به دانشگاه/مؤسسه از نظر کاهش مسئولیت، زیرساخت و هزینه تعمیم می‌یابد.
۹	(Goodwin et al., 2012)	ش.ب	Simulation-based virtual laboratories: a low-cost alternative to physical experiments in engineering education	آزمایش‌های شبیه‌سازی می‌توانند به دانشجویان یک تجربه آموزشی مرتبط صنعتی با هزینه نسبتاً کم بدهد.

ادامه جدول ۳

۱۰	(Wang, 2018)	م.ن.	A critical review of the use of virtual reality in construction engineering education	فناوری‌های واقعیت مجازی که برای آموزش مهندسی ساخت‌وساز به کار گرفته شده‌اند، از جمله VR مبتنی بر دسکتاپ، VR همه‌جانبه، VR مبتنی بر بازی سه‌بعدی، تا VR با قابلیت مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در طول زمان تکامل می‌یابند.
۱۱	(Altalbe, 2019)	م.م.ک.	Impact of simulation-based virtual laboratory practice on engineering students: A case study of an Australian virtual system	مدل پیشنهادی، درک جامعی از ادراک دانشجویان ارائه می‌دهد و عوامل کم مطالعه واقعاً در بازتاب تأثیر عملکرد آنها از استفاده از چنین ابزارهای آزمایشگاهی مهم بودند. به طور خاص، ابزار دقیق و سودمندی درک‌شده از آزمایشگاه مجازی مهم‌ترین عوامل آغازگر هستند که بر عملکرد دانشجویان تأثیر می‌گذارند. همچنین، یافته‌ها نقش میانجی اهداف یادگیری آزمایشگاهی را بین عوامل قابلیت استفاده و نتایج استفاده نشان می‌دهد.
۱۲	(Hernández-de-Menéndez, 2020)	م.	Engineering education for smart technology: a systematic review	ربات‌های مستقل، شبیه‌سازی، ادغام افقی و عمودی، اینترنت صنعتی اشیا، تولید افزودنی، واقعیت افزوده، امنیت سایبری، رایانش ابری، و داده‌های بزرگ فناوری‌هایی هستند که از ارکان رویکرد I۴ در نظر گرفته می‌شوند.
۱۳	(Tatli, 2010)	م.ن.	Virtual laboratory applications in chemistry education	اهداف استفاده از آزمایشگاه‌های مجازی، مزایا و معایب آنها بررسی شد و برخی از مطالعات آزمایشگاه مجازی در زمینه شیمی معرفی شدند.
۱۴	(Alkhedher, 2021)	م.م	An interactive virtual laboratory for dynamic and control systems in the undergraduate mechanical engineering curriculum – a case study	ارائه آزمایشگاه‌های مهندسی مکانیک در زمینه‌های مختلف مهم مانند ساخت، دینامیک، واپایش و غیره چالش‌برانگیزتر شده است. استفاده از آزمایشگاه‌های تعاملی مهندسی مکانیک، دستیابی به نتایج یادگیری مرتبط با تحویل آزمایشگاه سامانه‌های دینامیک و واپایش را تضمین کرده است.
۱۵	(Muthusamy, 2010)	م.	Virtual laboratories in engineering education	آزمایشگاه‌های مجازی در دنیای آموزش مهندسی «در هر زمان، هر مکان، یادگیری برخط» استفاده می‌شوند. آنها همچنین به طور فزاینده‌ای برای تکمیل حالت‌های یادگیری سنتی استفاده می‌شوند.
۱۶	(Hernández-de-Menéndez, 2019)	م.	Virtual reality laboratories: a review of experiences	آزمایشگاه‌های مجازی عمدتاً به دلیل سرمایه‌گذاری کم، هزینه‌های نگهداری پایین و سهولت تکرار برای پاسخگویی به تقاضای کاربر و مهم‌تر از همه، به دلیل عالی بودن آنها گزینه‌ای مناسب برای تکمیل و یا جایگزینی آزمایشگاه‌های عملی هستند.

ادامه جدول ۳

۱۷	(Kumar, 2021)	م.م	Virtual reality in chemical engineering and biochemistry education	فرصت‌ها و چالش‌های ادغام واقعیت مجازی در آموزش مهندسی شیمی و بیوشیمی را با تأکید بر حوزه‌های اساسی فناوری، آموزش و اجتماعی و اقتصادی مورد بحث قرار می‌دهد. همچنین بر نیاز به تقویت رابط‌های واقعیت مجازی با مدل‌های ریاضی برای توسعه برنامه‌های کاربردی یادگیری همه‌جانبه پیشرفته تأکید می‌کند.
۱۸	(Esquembre, 2015)	ش.ب	Facilitating the creation of virtual and remote laboratories for science and engineering education	آزمایشگاه‌های مجازی یا شبیه‌سازی‌ها می‌توانند برای ارتقای نقش فعال‌تر دانشجویان هنگام مطالعه پدیده‌های خاص مورد استفاده قرار گیرند. آزمایشگاه‌های راه دور ارزش اضافی استفاده از سخت‌افزار واقعی را، معمولاً در مکان‌های دور، اضافه می‌کنند، که به دانشجویان مسائل اضافی را که هنگام استفاده از تجهیزات واقعی ظاهر می‌شوند، نشان می‌دهد.
۱۹	(Stefanovic, 2013)	م.م.ک	Objectives, architecture and effects of distance learning laboratories for industrial engineering education	مفهوم آزمایشگاه برای آموزش از راه دور با تنظیمات آزمایشگاهی واپایش از راه دور یا آزمایشگاه‌های مجازی با شبیه‌سازی‌های مختلف نقش مهمی در آموزش و آموزش مهندسی صنایع دارند. اگر چه این مفهوم جدید نیست، اما تعدادی از مسائل باز وجود دارد که باید حل شوند.
۲۰	(Abumalloh, 2021)	م.م.ک	The impact of the coronavirus pandemic (COVID-19) on education: the role of virtual and distance laboratories in education	عامل فشار (تهدید زیست‌محیطی) به طور معناداری با منافع درک‌شده مرتبط است. عوامل کششی (انگیزه یادگیری الکترونیکی، به اشتراک‌گذاری اطلاعات درک‌شده و فاصله‌گذاری اجتماعی) به طور قابل توجهی بر مزایای یادگیرندگان تأثیر می‌گذارد. عامل پهلوگیری، یعنی امنیت درک‌شده، به طور قابل توجهی بر مزایای یادگیرندگان تأثیر می‌گذارد.

م.م.ک.= مطالعه موردی اکتشافی ش.ب= شبیه‌سازی م. مروری
م.ن = مرور نظام‌مند م.م.ک= مطالعه موردی کمّی

یادگیری شخصی: راه‌حل‌های آزمایشگاه‌های مجازی سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا هر تعداد آزمایشگاه را که لازم است ایجاد کنند. هر آزمایشگاه می‌تواند متناسب با نوع آموزش مورد نیاز کاربران و یا فراگیران تنظیم شود. فراگیران می‌توانند در مراحل مختلف آموزش با اطلاعات ازپیش‌بارگذاری‌شده متفاوت شروع کنند. به عنوان مثال، این راه‌حل‌ها ایجاد دوره‌های مبتدی و پیشرفته را تسهیل می‌کنند و به کاربران اجازه می‌دهند تا از نقاط ورودی مختلف شروع کنند.

رویدادهای مجازی زنده: ویژگی رویدادهای مجازی زنده راه‌حل‌های آزمایشگاه فناوری اطلاعات مجازی مدیریت کارآمد آموزش برخط و عملی در محلی را که قرار است در بازه‌های زمانی تعیین‌شده

انجام شود، آسان می‌کند. این ویژگی با پیکربندی آسان و رویدادمحور در صورتی مفید است که سازمان نیاز به آموزش بسیاری از یادگیرندگان در یک جلسه برنامه‌ریزی‌شده زنده و راه‌اندازی چندین محیط آزمایشگاهی به طور هم‌زمان داشته باشد. مدیران همچنین می‌توانند طول یک رویداد را تعیین کنند، تاریخ انقضا را تعیین کنند و محدودیت‌های استفاده را برای کاربران تعیین کنند.

قابلیت‌های تحلیل: راه‌حل‌های آزمایشگاه مجازی دارای قابلیت‌های تحلیل داخلی و همچنین داشبوردی برای کمک به مدیریت آزمایشگاه‌ها هستند. این آمارها شامل تعداد آزمایشگاه‌هایی است که از یک پروژه مشخص شروع شده‌اند و تعداد دفعاتی که یک کاربر خاص به آزمایشگاه خود دسترسی پیدا کرده است. همچنین دسترسی به آزمایشگاه‌ها برای ممیزی کاری که فراگیران انجام داده‌اند و اطمینان از پیشرفت صحیح آنها در دوره آموزشی امکان‌پذیر است.

۴-۱. دستاوردهای استفاده از آزمایشگاه مجازی در آموزش مهندسی مطالعات انجام‌شده چیست؟

مرور مطالعات پیرامون موضوع آزمایشگاه‌های مجازی در آموزش مهندسی و نتایج و دستاوردهای آن نشان می‌دهد که اکثر محققان در این زمینه تحقیقاتی به صورت مروری و تنها به نظام‌مند اکتفا کرده‌اند و درصد اندکی از آنها به صورت موردی و کمی و شبیه‌سازی نتایجی را ارائه داده‌اند. هر چند تحقیقات در این زمینه کم است و هنوز منابع اطلاعاتی قوی در دسترس نیست. با این حال مطالعه مقالات موجود نشان‌دهنده این امر است که اکثر تحقیقات بر این امر تأکید دارند که در دسترس بودن مزیت عمده آزمایشگاه‌های راه دور و مجازی نسبت به آزمایشگاه فیزیکی است. کاربران در آزمایشگاه‌های مجازی این آزادی را دارند که کاوش کنند، آزمایش‌ها را تکرار کنند و با سرعت خودشان یاد بگیرند که عملاً در یک آزمایشگاه فیزیکی یا حتی در یک آزمایشگاه راه دور امکان‌پذیر نیست. همچنین دانشجویان می‌توانند در هر زمان و از هر مکان و بدون نیاز به برنامه‌ریزی یا محدود شدن به یک جدول زمانی، به آزمایشگاه مجازی دسترسی داشته باشند و در هر زمان که راحت باشند، آزمایش کنند. آزمایشگاه‌های مجازی و از راه دور در مقایسه با آزمایشگاه‌های فیزیکی مقرون‌به‌صرفه هستند. این یکی از بزرگ‌ترین مزیت‌ها برای توسعه آزمایشگاه‌های راه دور است زیرا تجهیزات گران‌قیمت را می‌توان توسط بسیاری از یادگیرندگان از راه دور به اشتراک گذاشت. برای برخی از انواع آزمایشگاه‌ها، هزینه‌های جاری برای آزمایشگاه‌های مجازی بسیار کمتر است زیرا شبیه‌سازی‌ها در محیط‌های مجازی انجام می‌شود.

یکی از جذاب‌ترین برنامه‌های آموزش الکترونیکی برای آموزش عالی، آزمایشگاه مجازی است که به دانشجویان این امکان را می‌دهد تا دانش و مهارت‌های تازه‌کسب‌شده خود را با استفاده بی‌حدوحصر از اینترنت به کار ببرند. بررسی اسناد منتشرشده، از روند صعودی مطالعات در زمینه آزمایشگاه مجازی و بررسی تأثیرات آن در آموزش عالی و رشته‌های آموزش مهندسی حکایت دارد. آزمایشگاه‌های مجازی می‌توانند مکمل خوبی برای آموزش باشند. در حال حاضر، تمرکز بیشتر بر مهندسی و تا حدی کمتر بر

مشاغل علمی است، که حتی می‌تواند از تجربیات واقعی آزمایشگاهی پشتیبانی کند. با این حال، برای بهبود سودمندی آن، باید مطالب و اهداف مورد نظر را انتخاب کرد. بدین ترتیب می‌توان از فعالیت‌هایی که در آن ادغام می‌شوند طراحی مناسبی انجام داد و تأثیرات مثبتی در یادگیری دانشجویان ایجاد کرد.

به عنوان یک مزیت افزوده آزمایشگاه مجازی، اگر به خوبی تصور شود، می‌تواند به عنوان ابزاری برای آینده حرفه‌ای فارغ‌التحصیلان باشد. الگوی تدریس دانشجومحور بر دانشجویانی که درگیر در یادگیری مهارت‌های درجه بالا هستند، تمرکز دارد. نزدیکی اعضای گروه، پیامدهای بالقوه زیادی برای موفقیت در یک کار گروهی مشترک دارد. بنابراین، برخی از تحقیقات در نتایج خود نشان می‌دهند که عملکرد گروه مجازی، به شدت تحت تأثیر کیفیت کار گروهی است. یکی از نگران‌کننده‌ترین جنبه‌ها شاید از دست دادن احتمالی همکاری بین دانشجویان یا مهارت کار گروهی باشد. اگر چه مطالعاتی وجود دارد که نشان می‌دهد دقیقاً در آزمایشگاه سنتی است که این شایستگی بسیار محدود است و درک دانشجویان از آزمایشگاه‌های مجازی به عنوان ابزاری برای آموزش و نتایج یادگیری بسیار مثبت است. استفاده از اینترنت برای این اهداف آموزشی، یعنی آزمایشگاه‌های مجازی، می‌تواند موانع فیزیکی را برای یادگیری مشارکتی در کار گروهی از بین ببرد. بدون شک یکی دیگر از فرصت‌های بزرگ ارائه‌شده توسط آزمایشگاه‌های مجازی، امکان دسترسی محلی است. بدون شک یکی دیگر از فرصت‌های بزرگ ارائه‌شده توسط آزمایشگاه‌های مجازی، امکان دسترسی مضاعف به عنوان‌مثال در کلاس‌های رایانه برای آموزش حضوری با حضور استاد و یا در دسترسی از راه دور از هر نقطه برای آموزش از راه دور است. این اجازه می‌دهد تا طرحی برای کار دانشجو با تداوم ادامه پیدا کند تا احتمالات را ادامه دهد یا حتی با تمرین قبل از رفتن به کلاس آشنا شود که در معرفی ابزارهای فناورانه در شیوه‌های آزمایشگاهی بسیار مثبت بوده است. پایداری، نگهداری و توسعه موضوعات بسیار حیاتی برای دانشگاه‌ها هستند. بنابراین جنبه اول یعنی پایداری منابع آنها یکی از نکات کلیدی بقای دانشگاه است و به شدت به تعداد دانشجویانی که می‌توانند در آنها ثبت‌نام کنند، بستگی دارد. در مشاغل فناورانه، یکی از کاستی‌های عمده، عملکرد دانشجویان دانشگاه به دلیل هزینه‌های آزمایشگاهی است. آزمایشگاه‌های مجازی در چندین مطالعه نشان داده‌اند که ابزار مفیدی هستند و در برخی موارد حتی بهتر از آزمایشگاه‌های سنتی هستند، زیرا امکان تکرار آزمایش‌های بیشتری را فراهم می‌کنند. این ظرفیت، مطمئناً امکان دسترسی به دانشجویان بیشتری را فراهم می‌کند و بنابراین مستقیماً به پایداری دانشگاه‌ها کمک می‌کند. علاوه بر این، آزمایشگاه‌های مجازی نسبت به آزمایشگاه‌های سنتی نیاز به نگهداری کمتری دارند. بررسی‌ها نشان داد که آزمایشگاه‌های مجازی مهندسی زیادی در سراسر جهان برای دوره‌های مهندسی درحال‌توسعه هستند. تحقیقات متعددی نظیر ترمودینامیک (Anderson, 2001)، طراحی به کمک رایانه (Flick & Bell, 2000) (CAD)، مکانیک سیالات (Highochi, 2000)، مهندسی کنترل، طراحی مدار و بسیاری موارد دیگر بر روی آزمایش‌های مجازی انجام شده است. همچنین وبگاه‌های اختصاصی نظیر آزمایشگاه‌های مهندسی پردو در دانشگاه

پردو، مهندسی مجازی در دانشگاه جان‌هاپکینز (شامل ده آزمایشگاه مجازی)، پروژه آزمایشگاه مجازی مهندسی و ریاضی دانشگاه پیتسبورگ، دانشگاه مجازی میشیگان آزمایشگاه واقعیت مجازی (VRL) در دانشکده مهندسی و بسیاری از موارد دیگر، برای مهندسی آزمایشگاه‌های مجازی در دانشگاه‌ها ایجاد شده و فعالیت می‌نماید.

مرور مطالعات انجام‌شده به شناسایی و دسته‌بندی ۱۲ دستاورد ناشی از به‌کارگیری از آزمایشگاه‌های مجازی در آموزش مهندسی انجامید که در ادامه به‌اختصار هر یک از دستاوردها به تفکیک منابع مورد اشاره در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴. دستاوردهای آزمایشگاه مجازی در آموزش مهندسی

دستاوردهای آزمایشگاه مجازی	منابع
آزادی عمل کاربران در کاوش و تکرار آزمایش‌های	(Altalbe, 2018), (Salmerón-Manzano, 2018), (Reavis et al., 2020), (Grodotzki et al., 2018), (De Jong,2013)
دسترسی دانشجویان به آزمایشگاه مجازی بدون در نظر گرفتن محدودیت‌های زمانی و مکانی	(Altalbe, 2018), (Soliman et al., 2021), (Hernández-de-Menéndez, 2020), (Muthusamy, 2010)
مقرون‌به‌صرفه بودن آزمایشگاه‌های مجازی	(Altalbe, 2018), (Salmerón-Manzano, 2018), (Reavis et al., 2020)
امکان دسترسی محلی	(Stefanovic, 2013)
امکان دسترسی دانشجویان با صرف هزینه‌های کمتر نسبت به آزمایشگاه‌های فیزیکی	(Stefanovic, 2013), (Abumalloh, 2021)
سرمایه‌گذاری کم، هزینه‌های نگهداری پایین و سهولت تکرار برای پاسخگویی به تقاضای کاربر	(Hernández-de-Menéndez, 2019), (Altalbe, 2018), (Salmerón-Manzano, 2018), (Reavis et al., 2020)
طراحی و اجرای آزمایش‌ها و تفسیر داده‌ها	(Esquembre, 2015)
توانایی کار در گروه‌ها با عملکردهای مختلف	(Esquembre, 2015)
توانایی شناسایی، فرمول‌بندی کردن و حل مشکلات مهندسی	(Esquembre, 2015), (Abumalloh, 2021)
توانایی ایجاد ارتباط مؤثر (شفاهی، نوشتاری، تصویری)	(Esquembre, 2015)
کسب آموزش‌های لازم برای درک تأثیر راه‌حل‌های مهندسی بر جامعه محلی و جهانی	(Esquembre, 2015)
توانایی استفاده از فناوری‌ها، مهارت‌ها و ابزارهای مدرن در فعالیت‌های مهندسی	(Esquembre, 2015), (Abumalloh, 2021)

۴-۲. مزایای و محدودیت‌های استفاده از آزمایشگاه مجازی در آموزش مهندسی مطالعات انجام‌شده چیست؟

در هر توسعه فناوری جدید، محاسن و معایبی وجود دارد. بررسی مزایا و معایب استفاده از آزمایشگاه مجازی در آموزش مهندسی مطالعات انجام‌شده به شناسایی هفت مزیت شامل «کاهش محدودیت‌های مرتبط با امکانات، کاهش هزینه‌ها، توسعه ظرفیت‌های آموزش از راه دور، ارتقای ایمنی، مزایای آموزشی و مزایای مربی، انعطاف‌پذیری» و شش محدودیت شامل «نیاز به مهارت، نیاز به سخت‌افزار و شبکه، نرم‌افزار آزمایشگاهی مجازی، لزوم اخلاق حرفه‌ای داشتن، واقع‌گرایی، مسائل اعتباربخشی» منجر گردید که در ادامه هر یک به اختصار معرفی‌شده است. با مطالعه مروری پژوهش‌های مرتبط به شرح زیر است (Reeves & Crippen, 2015).

۴-۲-۱. مزایا

بررسی‌های اسناد منتخب به شناسایی هفت مزیت استفاده از آزمایشگاه مجازی در آموزش مهندسی منتج گردید که در ادامه هر یک از این موارد به اختصار توصیف می‌شود:

۱. **لجستیک (کاهش محدودیت‌های مرتبط با امکانات)**: تدارک یک آزمایشگاه واقعی به دلایلی نظیر نیاز به فضا، ابزار دقیق و پشتیبانی انسانی، به ویژه زمانی که با تعداد زیادی دانشجو سروکار داریم، مشکلی بزرگ برای دانشگاه‌ها است (Tatli, 2010). آزمایشگاه‌های مجازی برای برطرف‌کردن نیاز تعداد زیادی از دانشجویان مناسب‌تر هستند (Muthusamy et al., 2010; Pimentel, 1999).

۲. **کاهش هزینه‌ها**: هزینه راه‌اندازی یک آزمایشگاه مجازی در مقایسه با یک آزمایشگاه واقعی بسیار کم است. هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری نیز در مقایسه با آزمایشگاه‌های واقعی بسیار پایین است (Tatli, 2010). برخلاف آزمایشگاه‌های واقعی، آزمایشگاه‌های مجازی برای عملکرد مؤثر نیازی به تعمیر و نگهداری روزانه و تخصص ندارند. همچنین برای آسیب‌های ناشی از خرابی نیازی به تعویض نیست. آزمایشگاه‌های مجازی و از راه دور در مقایسه با آزمایشگاه‌های فیزیکی مقرون‌به‌صرفه هستند. این یکی از بزرگ‌ترین مزیت‌ها برای توسعه آزمایشگاه‌های راه دور است زیرا تجهیزات گران‌قیمت را می‌توان توسط بسیاری از یادگیرندگان از راه دور به اشتراک گذاشت(Harward et al., 2008) . برای برخی از انواع آزمایشگاه‌ها، هزینه‌های جاری برای آزمایشگاه‌های مجازی بسیار کمتر است زیرا شبیه‌سازی‌ها در محیط‌های مجازی انجام می‌شود. مثلاً، آزمایشگاه مجازی شیمی، منابع شیمیایی واقعی را هدر نمی‌دهد (Staker & Horn, 2012; Raman et al., 2011).

۳. **توسعه ظرفیت‌های آموزش از راه دور**: آموزش باز و از راه دور[1] (ODL) به طور سنتی و تا زمانی که اخیراً،

1- Open and distance learning (ODL)

سخنرانی‌ها، آموزش‌ها و آزمایشگاه‌ها در آموزش مهندسی همیشه از طریق ابزارهای معمولی تحویل داده شده است. اما با ظهور ICT، آموزش مهندسی از طریق ODL تبدیل به یک واقعیت شده است. (Tatli, 2010) در واقع آزمایشگاه‌ها واسطه‌ای هستند که به دانشجویان مهندسی آموزش می‌دهند که چگونه دانش نظری را به دانش عملی تبدیل نمایند. مانند هر ابزار ODL دیگر، هیچ تفاوتی وجود ندارد که آیا یک دانشجو در محوطه دانشگاه (در یک دانشگاه سنتی) یا در خانه (در یک دانشگاه مجازی) است. آزمایشگاه‌های مجازی همچنین فرصت‌های نامحدود را به دانشجویان ODL برای انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی بدون رفتن به آزمایشگاه‌های فیزیکی ارائه می‌دهند(Muthusamy et al., 2010) .فرصت‌های جدیدتر برای یادگیری محیط‌های مجازی، امکانات جدیدتری را برای انجام شبیه‌سازی‌ها و آزمایش‌هایی که گاهی در آزمایشگاه‌های فیزیکی یا حتی از راه دور امکان‌پذیر نیست، فراهم می‌کند. به عنوان مثال، در آزمایشگاه شبکه مجازی دانشجویان این فرصت را دارند که سناریوهای شبکه پیچیده و دستگاه‌های سخت‌افزاری را پیکربندی کنند که منبع آن در محیط آزمایشگاه فیزیکی دشوار است (Woodfield et al., 2005) . به وضوح بیان شده است که تحقیقات اکتشافی در آزمایشگاه فیزیکی عملی نیست، در صورتی که در آزمایشگاه‌های مجازی عملی و قابل اجرا هستند(Selmer et al., 2007).

۴. **ارتقای ایمنی**: آزمایشگاه‌های مجازی در مقایسه با آزمایشگاه‌های واقعی، هیچ‌گونه نگرانی ایمنی برای فراگیران ندارند. در آزمایشگاه‌های واقعی ممکن است اشعه‌های لیزر، آزمایش‌های هسته‌ای، تحلیل‌های شیمیایی مواد شیمیایی سمی و غیره زمینه‌ساز آسیب به انسان شود اما این‌گونه مخاطرات، در آزمایشگاه‌های مجازی وجود ندارد و نیز برای کاهش خطرات ناشی از انجام آزمایش، بسیار مفید هستند .(Muthusamy et al., 2010)در یک وضعیت آزمایشگاهی واقعی، ممکن است به دلیل نبود زیرساخت‌ها و ایمنی‌های لازم، امکان انجام آزمایش برای فراگیران، به ویژه تدریس در دوره کارشناسی وجود نداشته باشد، در حالی که در آزمایشگاه‌های مجازی، یادگیرندگان می‌توانند بدون نگرانی در مورد انفجارهای شیمیایی یا مواد خطرناک، آزمایش‌هایی انجام دهند (Walton, 2002). در مثالی دیگر، دانش‌آموزانی که آزمایش‌های زیست‌شناسی را در یک آزمایشگاه زیست‌شناسی از راه دور انجام می‌دهند، نیازی به نگرانی در مورد مسائل ایمنی ندارند (Hossein et al., 2015).

۵. **مزایای آموزشی**: دلایلی نظیر تنوع در شیوه‌های آموزشی و روش‌های یادگیری و کاربرپسند بودن آنها، می‌توان به راحتی زمینه استفاده از آزمایشگاه‌های مجازی را فراهم ساخت (Song et al., 2007). از سوی دیگر، برخی از دانشجویان به دلایلی، قادر به درک برخی مفاهیم هم‌سو با سایر دانشجویان در یک کلاس آزمایشگاهی طبیعی نیستند، با این حال مطالعات نشان داده‌اند که از طریق آزمایشگاه‌های مجازی، درک مفاهیم دشوار آسان‌تر می‌شود (Chang et al., 2002).

مشکلات پیچیده مهندسی با یک طراحی ساختاری مجازی منحصربه‌فرد با مجموعه بزرگی از

معادلات پیچیده برای هر طراحی جدید، قابل حل است. استفاده از آزمایشگاه‌های مجازی به نفع دانشجو بوده و موجب حفظ انگیزه او می‌گردد.(Tatli, 2010) در یک آزمایشگاه واقعی، از دانشجویان خواسته می‌شود تا تمام معادلات خود را حل کنند، به خاطر بسپارند یا یادداشت کنند، و ااین رویه، احتمال افزایش بار شناختی و در نتیجه فراموش کردن آن را افزایش می‌دهد. در حالی‌که در آزمایشگاه‌های مجازی زمینه‌ای فراهم می‌شود تا بخشی از این پیچیدگی از ذهن دانشجو کاسته شده و با برداشتن برخی از وظایف عادی، از شکل‌گیری خستگی شناختی در دانشجویان جلوگیری گردد. برآیند استفاده بهینه از این قابلیت، زمینه آموزش چندرسانه‌ای فکرکردن را برای دانشجویان فراهم می‌کند .(Limniou et al., 2007) در آزمایشگاه‌های مجازی امکان انجام آزمایش‌های متعددی را فراهم می‌کند تا نهایتاً به نتیجه مطلوب برسد (Muthusamy et al., 2010).

۶. **مزایای مربی:** هنگامی‌که آزمایش مجازی تنظیم می‌شود، عامل‌های تجربی را به آسانی می‌توان تغییر داد. دانشجویان می‌توانند آزمایش‌های دقیق‌تر را با تغییر متغیرهای مختلف انجام دهند. در آزمایشگاه واقعی، این می‌تواند هم برای مربیان و اساتید و هم برای دانشجویان زمان بر باشد. (Tatli, 2010; Hounshell & Hill,1989)

اساتید به عملکرد لحظه‌ای و گام‌به‌گام دانشجویان نظارت می‌کنند و می‌توانند پیشرفت دانشجویان را به دقت بررسی نمایند. دانشجویان مهارت انجام آزمایش در آزمایشگاه مجازی را به سرعت از اساتید فرامی‌گیرند (Dierig, 2000). اگر بتوان تفکیک یک آزمایش خاص را انجام داد، می‌توان انجام آزمایش را بهبود و توسعه داد (Muthusamy et al., 2010; Huang , 2004).

۷. **انعطاف‌پذیری:** انعطاف‌پذیری کاربران در آزمایشگاه‌های مجازی این آزادی را دارند که کاوش کنند، آزمایش‌ها را تکرار کنند و با سرعت یاد بگیرند که عملاً در یک آزمایشگاه فیزیکی یا حتی در یک آزمایشگاه راه دور امکان‌پذیر نیست.(Tatli, 2010) دانشجویان می‌توانند در هر زمان و از هر مکان و بدون نیاز به برنامه‌ریزی یا محدود شدن به یک جدول زمانی، به آزمایشگاه مجازی دسترسی داشته باشند و در هر زمان که راحت باشند، آزمایش را انجام دهند (Muthusamy et al., 2010 .(Nedic, 2002; Scheckler, 2003

۴-۲-۲. محدودیت‌ها

نتیجه بررسی‌های اسناد نشان داد که می‌توان شش محدودیت (نقطه ضعف) شامل نیاز به مهارت، نیاز به سخت‌افزار و شبکه، نرم‌افزار آزمایشگاهی مجازی، داشتن اخلاق حرفه‌ای ، مسائل اعتباربخشی و واقع‌گرایی را برای استفاده از آزمایشگاه مجازی در آموزش مهندسی مطالعات برشمرد. در ادامه هر یک از این موارد به اختصار توصیف می‌شود:

۸. **نیاز به مهارت:** دانشجویان باید سواد داشته باشند. کسانی که ناآشنا با دانش رایانه و اینترنت هستند،

قادر به استفاده کامل از ویژگی‌ها و گزینه‌های ارائه‌شده در یک آزمایشگاه مجازی نخواهند بود (Muthusamy et al., 2010)

۹. **نیاز به سخت‌افزار و شبکه:** در اصل، رایانه با قابلیت‌های چندرسانه‌ای برای آزمایشگاه‌های مجازی مورد نیاز است. برخی از آزمایشگاه‌های مجازی ممکن است نیاز به سرورهایی با اتصال به اینترنت با سرعت و پهنای باند بالا داشته باشند و این برای کاربرانی که از مناطق دورافتاده به آن می‌خواهند دسترسی پیدا کنند، میسر نیست .(Muthusamy et al., 2010)

۱۰. **نرم‌افزار آزمایشگاهی مجازی:** نرم‌افزار آزمایشگاه‌های مجازی باید به طور مداوم در کنار هم با پیشرفت‌های ICT به‌روز شوند تا منسوخ نشوند. به‌روزرسانی‌های دوره‌ای ممکن است نیاز به سرمایه‌گذاری جدید داشته باشند زیرا همه آزمایشگاه‌ها در شکل آزمایشگاهی مجازی موجود نیستند. این می‌تواند برای دانشجویان ODL مشکل باشد. هزینه برای توسعه یک آزمایشگاه مجازی، بسته به نوع و پیچیدگی آزمایش می‌تواند متفاوت باشد .(Muthusamy et al., 2010)

۱۱. **داشتن اخلاق حرفه‌ای:** دست‌کاری داده‌ها توسط کاربران برای به دست آوردن یک نتیجه خاص و یا نتیجه مورد نظر کاربر، ممکن است بر اخلاق مهندسی و حرفه‌ای تأثیر بگذارد. ضرورت رعایت اخلاق حرفه‌ای که در همه حال وجود دارد، در شرایط توسعه آزمایشگاه مجازی در آموزش مهندسی به توجه و الزامات بیشتری نیازمند است.(Muthusamy et al., 2010)

۱۲. **مسائل اعتباربخشی:** آزمون لتموس به ارزیابی اینکه چگونه آزمایشگاه‌های مجازی توسط تابلوهای اعتباربخشی ملی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، می‌پردازد. این گروه‌ها ممکن است با آزمایشگاه‌های مجازی ناآشنا باشند و ندانند ملاک‌های ارزیابی آزمایشگاه‌های مجازی در آموزش مهندسی چیست.(Muthusamy et al., 2010)

واقع‌گرایی: یک آزمایشگاه مجازی با شبیه‌سازی D-۲ در مقایسه با شبیه‌سازی D-۳ واقع‌گرایانه است. همه آزمایشگاه‌های مجازی در شبیه‌سازی D-۳ در دسترس نیستند .(Tatli, 2010) از منظر واقع‌گرایی، شبیه‌سازی آزمایشگاه‌های مجازی قابل مقایسه با آزمایشگاه‌های واقعی نیست. به عنوان مثال می‌توان از صداهای عجیب‌وغریب، خطاهای تصادفی، ماشین‌آلات معیوب و سایر اتفاقات غیرمنتظره نام برد. (Muthusamy et al., 2010)

جدول ۵. مزایا و معایب استفاده از آزمایشگاه مجازی

مزایا	منابع	محدودیت (معایب)	منابع
لجستیک (کاهش محدودیت‌های مرتبط با امکانات)	(Reeves & Crippen, 2015), (Muthusamy, 2010), (Tatli, 2010), (Pimentel, 1999)	نیاز به مهارت	(Muthusamy, 2010), (Tatli, 2010)

ادامه جدول ۵

کاهش هزینه‌ها	(Reeves & Crippen, 2015), (Muthusamy, 2010), (Tatli, 2010), (Harward et al., 2008)	نیاز به سخت‌افزار و شبکه	(Muthusamy, 2010), (Tatli, 2010)
توسعه ظرفیت‌های آموزش از راه دور	(Reeves & Crippen, 2015), (Muthusamy, 2010), (Tatli, 2010), (Woodfield et al., 2005), (Selmer et al. 2007)	نرم‌افزار آزمایشگاهی مجازی	(Muthusamy, 2010), (Tatli, 2010)
ارتقای ایمنی	(Reeves & Crippen, 2015), (Muthusamy, 2010), (Tatli, 2010), (Hossein et al., 2015), (Walton, 2002)	داشتن اخلاق حرفه‌ای	(Muthusamy, 2010), (Tatli, 2010)
مزایای آموزشی	(Reeves & Crippen, 2015), (Muthusamy, 2010), (Tatli, 2010), (Song et al., 2002), (Chang et al., 2007), (Limniou et al., 2007)	واقع‌گرایی	(Muthusamy, 2010), (Tatli, 2010)
انعطاف‌پذیری	(Reeves & Crippen, 2015), (Muthusamy, 2010), (Tatli, 2010)	مسائل اعتباربخشی	(Muthusamy, 2010), (Tatli, 2010)
مزایای مربی	(Reeves & Crippen, 2015), (Muthusamy, 2010), (Tatli, 2010), (Hounshell & Hill,1989), (Dierig, 2000), (Nedic, 2002), (Scheckler, 2003)		

۵. بحث

آزمایش‌های مجازی ارائه‌شده با فناوری رایانه، ارزش آزمایش‌های فیزیکی را با امکان کشف پدیده‌های غیرقابل مشاهده به دانشجویان می‌افزاید. در واقع آزمایشگاه‌های مجازی بین پدیده‌های قابل مشاهده و غیرقابل مشاهده ارتباط برقرار می‌کند، به عبارتی دانشجویان را قادر می‌سازد تا چندین آزمایش را در مدت‌زمان کوتاهی انجام دهند، راهنمای برخط و تطبیقی را ارائه دهند.

ونگ (Wang, 2018) ترکیبی از آزمایشگاه‌های مجازی و فیزیکی مزایایی را ارائه می‌دهد که هیچ یک به تنهایی نمی‌تواند به طور کامل به آنها دست یابد. آزمایشگاه‌های مجازی علاوه بر تأثیر مثبت خود برای ارتقای دانش مفهومی، دارای مزایای بیشتری مانند ارائه جایگزین‌های مقرون‌به‌صرفه برای آزمایشگاه‌های فیزیکی هستند. آنها همچنین به دانشجویان این فرصت را می‌دهند تا از سامانه‌های آزمایشی استفاده کنند که خارج از دسترس دانشگاه‌ها است. تحقیقات مجازی می‌تواند با تأثیر تحقیقات فیزیکی بر معیارهای درک مفهومی برابری کند یا از آن فراتر رود اما هیجان انجام آزمایش‌های عملی نیز شایسته توجه است.

مطالعاتی که آزمایش‌های مجازی و فیزیکی را با هم مقایسه می‌کنند، در درجه اول تأثیرات را بر درک مفهومی پدیده‌های علمی شیوه‌های تحقیق اندازه‌گیری کرده‌اند اما سایر نتایج، مانند علاقه به علم به عنوان شغل، ارزش بررسی دارند. تحقیقات در آزمایشگاه‌های مجازی و فیزیکی نیاز به تصمیم‌گیری دقیق دارد.(Freeman, 2020) واضح است که مواقعی وجود دارد که تحقیقات مجازی می‌تواند برابر یا مؤثرتر از تحقیقات فیزیکی باشد و مواقعی وجود دارد که آزمایشگاه‌های فیزیکی مناسب‌ترین هستند.

طراحان آموزش می‌تواند با بهره‌گیری از توانایی‌های هر نوع آزمایشگاه، نتایج را بهبود بخشد. با این حال، طراحی آزمایشگاه‌ها و آموزش استفاده از آنها برای اطمینان از بهره‌مندی دانشجویان مهم‌ترین متغیر در موفقیت آموزش علوم به صورت عملی است.

برای دستیابی به پایداری بلندمدت دانشگاه‌ها، راهبردهای تخصصی برای جذب دانشجو و همچنین سرمایه‌گذاری در مدارک ارائه‌شده توسط دانشگاه‌ها مورد نیاز است. آزمایشگاه‌های مجازی در سال‌های اخیر نه تنها در دانشگاه‌های فنی، بلکه در همه انواع مدارک دانشگاهی به یک واقعیت واقعی تبدیل شده‌اند زیرا استفاده فراگیران و اساتید از فناوری اطلاعات و ارتباطات همراه با محتوای ارائه‌شده توسط آزمایشگاه مجازی، نکات کلیدی در گسترش سامانه است و بنابراین آزمایشگاه‌های مجازی قطعاً وسیله‌ای برای حمایت از پایداری دانشگاه‌ها و صنعت هستند. از مهم‌ترین مزایا و معایب آزمایشگاه‌های مجازی در بخش آموزش و صنعت می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

بخش شرکتی: سازمان‌ها از این ابزارها برای آموزش کارکنان استفاده می‌کنند. شبیه‌سازی‌ها، به ویژه برای کارمندان کم‌تجربه، که ممکن است به آموزش‌های اضافه‌تری که نیاز به حضور در پروژه‌های واقعی دارند، مفید باشند.

بخش آموزش: آزمایشگاه‌های مجازی می‌توانند در حیطه آموزش برای مدرسان مؤثر واقع شوند، به طوری که بار کاری آنها را از نظر صرف زمان و هزینه‌های انجام آزمایش کاهش می‌دهند و ایمنی افراد حین انجام آزمایش را افزایش می‌دهد.

بخش صنعت و مکانیک: مثلاً بخش مهندسی مکانیک با مشکلاتی که شامل عدم وجود عناصر بصری- فضایی، گاهی اوقات در سطح مولکولی است (همانند ابعاد مخفی بین قطعات)، مقابله می‌کند. برای تقویت یادگیری در مورد خواص مواد، آزمایشگاه‌های مجازی به دانشجویان اجازه می‌دهند تا با مواد مختلف در یک دنیای شبیه‌سازی‌شده سه‌بعدی آزمایش کنند. آزمایشگاه‌های مجازی به ایجاد یک محیط یادگیری عملی، فراگیر کمک می‌کنند تا بتوانند مواد و ویژگی‌های آنها را به صورت فیزیکی ببینند و از نظر فضایی دست‌کاری کنند (Bashgazi & Memarian,2022)

صنعت ساخت‌وساز: از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی ساخت‌وساز برای معماران، مهندسان، پیمانکاران و طراحان استفاده شود. آزمایشگاه‌های مجازی در تجسم توالی ساخت و بررسی پیشرفت سایت پروژه در طول عمر آن به آنها کمک می‌کند.

مشارکت محدود: یادگیرندگانی که هنوز که با آموزش مجازی آشنایی ندارند، ممکن است لذت کار و استفاده از آزمایشگاه مجازی را نبرند یا در درک مزایای آن مشکل داشته باشند. آزمایشگاه‌های آموزش مجازی رویکردی جدید و مبتکرانه برای یادگیری هستند و هدایت خوب در آنها به‌خودی‌خود یک مهارت است. برخی از افراد ممکن است تغییر از تجربه یادگیری سنتی به مجازی را دشوار بدانند.

مهارت‌های پیش‌نیاز فناوری: برخی از افراد ممکن است قبل از استفاده از آزمایشگاه‌های آموزشی

مجازی، به آموزش مهارت‌های فناوری عمومی نیاز داشته باشند. ارائه آموزش مهارت‌های فناوری پیش‌نیاز ممکن است روند راه‌اندازی آزمایشگاه‌های آموزشی مجازی را طولانی‌تر کند و کارکنان پشتیبانی را با سؤال‌هایی در مورد نحوه استفاده از آنها مواجه کند(Palloff & Pratt,2001)

شبیه‌سازی غیرواقعی یا نامربوط: ایجاد تجربیات مجازی که با مسیرهای شغلی، علایق یا محیط‌های کاری روزمره مرتبط باشد، ضروری است. در غیر این صورت کارمندان، محیط‌های مجازی را بی‌ربط به شغل خود می‌دانند و نمی‌توانند از طریق آن به آموزش کامل دست یابند.

مسائل فنی مربوط به آموزش و آزمایشگاه‌های مجازی: محیط‌ها و پلتفرم‌های یادگیری مجازی به دلیل ماهیت خود در معرض مسائل فنی مانند اشکالات شبکه، امنیت و پهنای باند هستند. بسیار مهم است که اطمینان حاصل شود که سازمان، از انواع مسائلی که بستر آموزش مجازی آنها به احتمال زیاد تجربه می‌کند، آگاه باشد تا بتواند از وقوع مشکلات جلوگیری کند یا در صورت بروز مشکل به سرعت آنها را حل کند.

۶. نتیجه‌گیری

نظر به اینکه فاصله بین مهارت‌های فنی فناوری دیجیتال و دروس دانشگاهی رشته‌های مهندسی در سال‌های آینده در حال افزایش است و این موضوع در تقاضای دانشجویان رشته‌های فنی و مهندسی و مهندسان با مهارت‌های فنی مذکور مشهود است دانشگاه‌ها می‌توانند با ایجاد زمینه تکمیل دانش و مهارت دانشجویان رشته‌های مهندسی، ضمن تغییر در کتب درسی و روش‌های آموزشی که آموزش‌های غیرحضوری را نیز شامل می‌شوند، این مشکل را مرتفع نمایند. یکی از روش‌های نوین در این زمینه ایجاد آزمایشگاه‌های مجازی با استفاده از فناوری‌های منعطف روز دنیا از جمله هوش مصنوعی، یادگیری ماشین با محاسبات دقیق علمی است که بدون حضور مدرسان، دانشجویان و حتی استفاده از فضا و تجهیزات فیزیکی انجام گردد.

همان گونه که در مدت جهان‌گیری کووید ۱۹ که کشورهای جهان درگیر آن شدند، به منظور جلوگیری از تعطیلی طولانی‌مدت مدارس، دانشگاه‌ها و مراکز علمی، که این تعطیلی می‌توانست منجر به از بین رفتن جایگاه نظام‌های آموزشی یا تهدید آینده مراکز آموزشی شود و همچنین وجود شواهدی متعددی مبنی بر افزایش تأثیر استفاده از آموزش‌ها و آزمایشگاه‌های مجازی در ارتقای مهارت‌ها و دانش علمی دانش‌آموزان و دانشجویان در شرایطی که ضمن کاهش هزینه‌ها، بدون نیاز به حضور فیزیکی فراگیران و اساتید در کلاس‌های آموزشی، محققان نظام‌های آموزشی را به این فکر فرو برد که پذیرفتن، استقبال و مدیریت هوشمندانه استفاده از این فناوری‌های نوین، از جمله ایجاد مراکز علمی مجازی، مجازی‌سازی و نظام‌های برخط می‌تواند ضمن حفظ جایگاه و کارآمدی نظام‌های آموزشی، در همگام‌شدن با تحولات دم‌افزون جامعه و الزامات اساسی آن مؤثر واقع شود. از این رو، مراکز علمی

تلاش کردند تا به سرعت و با صرف زمان اندکی، برای مدیریت این تغییرات و الزامات مورد نیاز آن آماده شده و به آموزش دیجیتال منتقل شوند (Ahmady et al.2020).

تحقیقات و آزمایش‌های مجازی و فیزیکی، هر دو می‌توانند اهداف تحقیق و آزمایش را در درس‌های علومی که نیاز به آزمایشگاه دارند، برآورده کنند. هر دو رویکرد به دانشجویان اجازه می‌دهد تا به گونه‌ای بهینه، از ابزارها، فنون جمع‌آوری داده‌ها، مدل‌ها و نظریه‌های علم استفاده کنند (National Research Council US, 2005).

در تدریس علم و فناوری و آموزش‌های فنی به دانشجویان و دانش‌آموزان، آزمایشگاه‌های مجازی از ظرفیت بی‌شماری برخوردارند و این ظرفیت‌ها در قرن بیست‌ویکم به عنوان راهبردها و منابع آموزشی منعکس می‌شود. در حقیقت، با توجه به تکامل مویرگی (شبکه‌ای) نرم‌افزار و محیط‌های طراحی این نوع آزمایشگاه‌ها، که معمولاً با واقعیت مجازی در ارتباط است و به طور مستقیم به نرم‌افزار طراحی ویدئویی مربوط می‌شود، محققان این زمینه معتقدند که در آینده نزدیک آزمایشگاه‌های مجازی به طور گسترده‌ای تقریباً تمام زمینه‌های آموزش‌وپرورش، مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

References

- Abumalloh, R. A., Asadi, S., Nilashi, M., Minaei-Bidgoli, B., Nayer, F. K., Samad, S., & Ibrahim, O. (2021). The impact of coronavirus pandemic (COVID-19) on education: The role of virtual and remote laboratories in education. *Technology in Society*, 67, 101728.
- Ahmady, S., Shahbazi, S., & Heidari, M. (2020). Transition to virtual learning during the coronavirus disease--2019 Crisis in Iran: Opportunity or challenge? *Disaster Medicine and Public Health Preparedness,* e11--e12.
- Al-Emran, M., Mezhuyev, V., & Kamaludin, A. (2018a). PLS-SEM in information systems research: A comprehensive methodological reference. *4th International Conference on Advanced Intelligent Systems and Informatics (AISI 2018*). Springer In Press.
- Alkhedher, M., Mohamad, O., & Alavi, M. (2021). An interactive virtual laboratory for dynamics and control systems in an undergraduate mechanical engineering curriculum-a case study. *Global Journal of Engineering Education,* 23(1), 55-61.
- Alshuwaikhat, H. M., Adenle, Y. A., & Saghir, B. (2016). Sustainability assessment of higher education institutions in Saudi Arabia. *Sustainability*, 8(8), 750.
- Altalbe, A. A. (2019). Performance impact of simulation-based virtual laboratory on engineering students: A case study of Australia virtual system. *IEEE Access*, 7, 177387-177396.
- Altalbe, A. (2018). Virtual laboratories for electrical engineering students: Student perspectives and design guidelines. PhD Thesis, School of Information Technology and Electrical Engineering, The University of Queensland. *https://doi.org/10.14264/uql.2018.851.*
- Aparicio-Martínez, P., Perea-Moreno, A. J., Martinez-Jimenez, M. P., Varo, I. S. V., & Vaquero-Abellán, M. (2017). Social networks' unnoticed influence on body image in Spanish university students. *Telematics and Informatics*, 34(8), 1685-1692.
- Asgari, S., Trajkovic, J., Rahmani, M., Zhang, W., Lo, R. C., & Sciortino, A. (2021). An observational study of engineering online education during the COVID-19 pandemic. *Plos one, 16(4), e0250041.*[In Persion].
- Au-Yong-Oliveira, M., Gonçalves, R., Martins, J., & Branco, F. (2018). The social impact of technology on millennials and consequences for higher education and leadership. *Telematics and Informatics*, *35*(4), 954-963.

- Bermejo, S. (2005). Cooperative electronic learning in virtual laboratories through forums. *IEEE Transactions on Education, 48*(1), 140-149.
- Budhu, M. (2002). Virtual laboratories for engineering education. In *International Conference on Engineering Education* (pp. 12-18). Manchester, UK.
- Cabedo, L., Royo, M., Moliner, L., & Guraya, T. (2018). University social responsibility towards engineering undergraduates: The effect of methodology on a service-learning experience. *Sustainability,* 10(6), 1823.
- Chan, C., & Fok, W. (2009). Evaluating learning experiences in virtual laboratory training through student perceptions: A case study in Electrical and Electronic Engineering at the University of Hong Kong. *Engineering Education*, 4(2), 70-75.
- Chang, T., Jaroonsiriphan, P., and Sun, X. (2002). "Integrating nanotechnology into undergraduate experience: a web-based approach." *International Journal of Engineering Education*, 18(5), 557–565.
- Costa, V., & Monteiro, S. (2016). Key knowledge management processes for innovation: A systematic literature review. *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems. https://doi.org/10.1108/VJIKMS-02-2015-0017.*
- De Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, 340(6130), 305-308.
- Dierig, S., Kantel, J., & Schmidgen, H. (2000). The virtual laboratory for physiology. *A project in digitalising the history of experimentalisation of nineteenth-century life sciences.* Berlin: Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte. Cite as: https://hdl.handle.net/11858/00-001M-0000-002A-762A-C
- Dym, C. L., Agogino, A. M., Eris, O., Frey, D. D., & Leifer, L. J. (2005). Engineering design thinking, teaching, and learning. *Journal of Engineering Education,* 94(1), 103-120.
- Esquembre, F. (2015). Facilitating the creation of virtual and remote laboratories for science and engineering education. IFAC-PapersOnLine, 48(29), 49-58.
- Feisel, L. D., & Rosa, A. J. (2005). The role of the laboratory in undergraduate engineering education. *Journal of Engineering Education,* 94(1), 121-130.
- Flick, L., & Bell, R. (2000). Preparing tomorrow's science teachers to use technology: Guidelines for science educators. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education,* 1(1), 39-60.
- Frank, J. A., & Kapila, V. (2017). Mixed-reality learning environments: Integrating mobile interfaces with laboratory test-beds. *Computers & Education,* 110, 88-104.
- Freeman, A., & Webb, L. (2020). Yes, you can learn movement lawyering in law school: highlights from the movement lawyering lab at Denver law. *How. Hum. & Civ. Rts. L. Rev.*, 5, 55.
- García-Peñalvo, F. J., Fidalgo-Blanco, Á., & Sein-Echaluce, M. L. (2018). An adaptive hybrid MOOC model: Disrupting the MOOC concept in higher education. *Telematics and Informatics*, 35(4), 1018-1030.
- Gardner, M., & Elliott, J. (2014). The immersive education laboratory: understanding affordances, structuring experiences, and creating constructivist, collaborative processes, in mixed-reality smart environments. *EAI Endorsed Transactions on Future Intelligent Educational Environments, 14(1), Creators-Gardner.*
- Gokhale, A.A. (2012). Collaborative learning and critical thinking. In: Seel, N.M. Encyclopedia of the Sciences of Learning. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_910.
- Goodwin, G. C., Medioli, A. M., Sher, W., Vlacic, L. B., & Welsh, J. S. (2010). Emulation-based virtual laboratories: A low-cost alternative to physical experiments in control engineering education. *IEEE Transactions on Education,* 54(1), 48-55.
- Gravier, C., Fayolle, J., Bayard, B., Ates, M., & Lardon, J. (2008). State of the art about remote laboratories paradigms-foundations of ongoing mutations. *International Journal of Online Engineering, 4(1).*
- Grodotzki, J., Ortelt, T. R., & Tekkaya, A. E. (2018). Remote and virtual labs for engineering education 4.0: achievements of the ELLI project at the TU Dortmund University. *Procedia Manufacturing, 26, 1349-1360.*
- Grodotzki, J., Upadhya, S., & Tekkaya, A. E. (2021). Engineering education amid a global pandemic. *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, 3, 100058.

- Harry, E., & Edward, B. (2005). Making real virtual lab. *The Science Education Review, 4(1), 2-11.*
- Harward, V. J., Del Alamo, J. A., Lerman, S. R., Bailey, P. H., Carpenter, J., DeLong, K., & Zych, D. (2008). The ilab shared architecture: A web services infrastructure to build communities of internet accessible laboratories. *Proceedings of the IEEE*, 96(6), 931-950.
- Heradio, R., de la Torre, L., & Dormido, S. (2016). Virtual and remote labs in control education: A survey. *Annual Reviews in Control*, 42, 1-10.
- Hernandez-de-Menendez, M., Escobar Díaz, C. A., & Morales-Menendez, R. (2020). Engineering education for smart 4.0 technology: a review. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM),* 14(3), 789-803.
- Hernández-de-Menéndez, M., Vallejo Guevara, A., & Morales-Menendez, R. (2019). Virtual reality laboratories: a review of experiences. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM),* 13(3), 947-966.
- Hounshell, P., B. & Hill, S., R. (1989). "The microcomputer and achievement and attitudes in high school biology". *Journal of Research in Science Teaching*, 26,6,543-549
- Huang, C. (2004). Virtual labs: E-learning for tomorrow. *PLoS Biology,* 2(6), e157.
- Kang, D., & Park, M. J. (2017). Competitive prospects of graduate program on the integration of ICT superiority, higher education, and international aid. *Telematics and Informatics*, 34(8), 1625-1637.
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. *Software Engineering Group,* School of Computer Science and Mathematics, Keele University1-57. *https://doi.org/10.1145/1134285.1134500.*
- Kumar, V. V., Carberry, D., Beenfeldt, C., Andersson, M. P., Mansouri, S. S., & Gallucci, F. (2021). Virtual reality in chemical and biochemical engineering education and training. *Education for Chemical Engineers, 36, 143-153.*
- Limniou, M., Papadopoulos, N., Giannakoudakis, A., Roberts, D. & Otto, O. (2007). The integration of a viscosity simulator in a chemistrylaboratory chemistry, *Education Research and Practice, 8,2,220-231*
- Marangunić, N., & Granić, A. (2015). Technology acceptance model: A literature review from 1986 to 2013. *Universal Access in the Information Society, 14(1), 81-95. https:// doi.org/10.1007/s10209-014-0348-1.*
- Memarian, M. (2021a). Microwave engineering course. Tehran, Iran: Sharif University of Technology [in Persian].
- Memarian, M. (2021b). Fields and waves course. Tehran, Iran: Sharif University of Technology [in Persian].
- Memarian, M., Bashghazi, S. (2022). Designing and implementing a new virtual course "Simulation Laboratory in Electromagnetism". Iranian Journal of Engineering Education, 24(94), 1-22. [in Persian].
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., G. Altman, D. (2009)." Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses": the PRISMA statement BMJ 2009*; 339 doi: https://doi.org/10.1136/bmj.b2535 (Published 21 July 2009) Cite this as: BMJ 2009;339:b2535.*
- Moreira, F., Ferreira, M. J., Santos, C. P., & Durão, N. (2017). Evolution and use of mobile devices in higher education: A case study in Portuguese higher education institutions between 2009/2010 and 2014/2015. *Telematics and Informatics, 34(6), 838-852.*
- Muthusamy, K., Kumar, P. R., & Latif, S. R. S. A. (2010). Virtual laboratories in engineering education. *Asian Journal of Distance Education, 3(2), 55-58.*
- National Research Council US. (2005). America's lab report: Investigations in high school science. S. R. Singer, M. L. Hilton, & H. A. Schweingruber (Eds.). Washington, DC: National Academies Press.
- Nedic, Z., Machotka, J., & Nafalski, A. (2003). Remote laboratories versus virtual and real laboratories. Vol. 1, pp. T3E-T3E. IEEE.
- Nickerson, J. V., Corter, J. E., Esche, S. K., & Chassapis, C. (2007). A model for evaluating the effectiveness of remote engineering laboratories and simulations in education. *Computers & Education, 49(3), 708-725.*
- Ntinda, M. N., Haiduwa, T., & Kamati, W. (2021). Development and analysis of virtual laboratory as an assistive tool for teaching grade 8 physical science classes. *Intelligent Analytics With Advanced Multi-Industry Applications (pp. 326-349). IGI Global.*
- Palloff, R.M., & Pratt, K. (2001). Lessons from the cyberspace classroom: The realities of online teaching. San

Francisco, CA: Jossey-Bass.

- Pimentel, J. R. (1999). Design of net-learning systems based on experiential learning. *Journal of Asynchronous Learning Networks 3(2), 64-90*
- Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V. M., & Jovanović, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: a review. *Computers & Education, 95, 309-327.*
- Ramirez, G. M., Collazos, C. A., & Moreira, F. (2018). All-Learning: the state of the art of the models and the methodologies educational with ICT. *Telematics and Informatics, 35(4), 944-953.*
- Reeves, S. M., & Crippen, K. J. (2021). Virtual laboratories in undergraduate science and engineering courses: A systematic review, 2009–2019. *Journal of Science Education and Technology, 30(1), 16-30.*
- Safavi, A., Salehi, S., Motamidi, M., Kikha, E., Naqvi, V., Ghaffari, H. (2007). Iran's first virtual and remote laboratory for control engineers: Vajra design *Iranian Journal of Engineering Education, 9(34), 115-129.* [In Persian].
- Salmerón-Manzano, E., & Manzano-Agugliaro, F. (2018). The higher education sustainability through virtual laboratories: The Spanish University as case of study. *Sustainability, 10(11), 4040.*
- Sánchez, J., Esquembre, F., Martín, C., Dormido, S., Dormido-Canto, S., Canto, R. D., & Urquia, A. (2005). Easy java simulations: an open-source tool to develop interactive virtual laboratories using matlab/simulink. *International Journal of Engineering Education,* 21(5), 798.
- Scheckler, R. K. (2003). Virtual labs: a substitute for traditional labs? *International Journal of Developmental Biology, 47(2-3),* 231-236.
- Selmer, A., Kraft, M., Moros, R., and Colton, C. (2007). Weblabs in chemical engineering education. *Education for Chemical Engineers*, 2(1), 38–45.
- Soliman, M., Pesyridis, A., Dalaymani-Zad, D., Gronfula, M., & Kourmpetis, M. (2021). The application of virtual reality in engineering education. *Applied Sciences,* 11(6), 2879.
- Song, G., Olmi, C., and Bannerot, R. (2007). Enhancing vibration and controls teachings with remote laboratory experiments. Proc. *American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition, ASEE.*
- Staker, H., & Horn, M. B. (2012). Classifying k-12 blended learning. innosight institute, CA, USA.Retrieved from *http://www.innosightinstitute.org/innosight/wp* content/uploads/2012/05/Classifying-K-12-blended-learning2.pdf
- Stefanovic, M. (2013). The objectives, architectures and effects of distance learning laboratories for industrial engineering education. *Computers & Education, 69*, 250-262.
- Tatli, Z., & Ayas, A. (2010). Virtual laboratory applications in chemistry education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences, 9*, 938-942.
- Tiwari, R., & Singh, K. (2011). Virtualisation of engineering discipline experiments for an Internet-based remote laboratory. *Australasian Journal of Educational Technology, 27(4),* 671-692.
- Villar-Zafra, A., Zarza-Sánchez, S., Lázaro-Villa, J. A., & Fernández-Cantí, R. M. (2012, July). Multiplatform virtual laboratory for engineering education. *2012 9th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV) (pp. 1-6). IEEE.*
- Walton, P., H. (2002). On the use of chemical demonstrations in lectures, *The Royal Society Of Chemistry Journal,* 6,1,22-27.
- Wang, P., Wu, P., Wang, J., Chi, H. L., & Wang, X. (2018). A critical review of the use of virtual reality in construction engineering education and training. *International Journal of Environmental Research and Public Health,* 15(6), 1204.
- Woodfield, B. F., Andrus, M. B., Andersen, T., Miller, J., Simmons, B., Stanger, R., & Bodily, G. (2005). The virtual chemLab project: A realistic and sophisticated simulation of organic synthesis and organic qualitative analysis. *Journal of Chemical Education,* 82(11), 1728.
- Zahedi, M., Shahin, M., & Babar, M. A. (2016). A systematic review of knowledge sharing challenges and practices in global software development. *International Journal of Information Management, 36(6), 995-1019. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.* 2016.06.007.

دکتر کیوان صالحی: دانشیار بخش تخصصی پژوهش و سنجش در دانشکده روان‌شناسی و علوم تربیتی دانشگاه تهران است. ایشان دارای دکترای سنجش آموزش (Educational assessment) است. علاقه‌مندی مطالعاتی و پژوهشی‌شان در زمینه‌هایی نظیر رویکردهای نوین در سنجش آموزش، ساخت و توسعه ابزارها و فنون میزان‌شده در گردآوری داده‌ها، مفهوم‌پردازی و نظریه‌پردازی در علوم رفتاری؛ مطالعات بین‌رشته‌ای حوزه‌های مرتبط با مراکز سنجش و توسعه، کاربست هوش مصنوعی در سنجش آموزش و محیط‌های آموزشی؛ رویکردهای پژوهش پساکیفی، کیفی، کمّی و آمیخته در علوم رفتاری و ارزشیابی، اعتبارسنجی و تضمین کیفیت در نظام آموزشی است.

زهرا اکبری پردنجانی: دانشجوی کارشناسی ارشد آموزش‌مهندسی دانشگاه تهران و دانش‌آموخته رشته علوم رایانه دانشگاه شهرکرد. علایق پژوهشی وی در حوزه‌هایی نظیر ریاضیات و هوش مصنوعی؛ یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و داده‌کاوی است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی