

## نقش فناوری‌های دیجیتال در ارتقای آموزش مهندسی شیمی

علی محمد سهل‌الدین<sup>۱\*</sup> و رحمت ستوده قره‌باغ<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۲۴

DOI: 10.22047/ijee.2024.446961.2060

DOR: 20.1001.1.16072316.1403.26.103.3.2

**چکیده:** این مقاله به بررسی تأثیر فناوری‌های دیجیتال بر آموزش مهندسی شیمی می‌پردازد. با توسعه روزافزون این فناوری‌ها، ابزارها و محیط‌های آموزشی نیز تغییر کرده‌اند و روش‌های سنتی آموزش، به روش‌های مدرن و تعاملی تبدیل شده‌اند. در این نوشته، ابتدا به مزایای استفاده از فناوری‌های دیجیتال در آموزش اشاره می‌گردد و سپس به ابزارهای مختلفی که در این حوزه استفاده می‌شوند، از جمله صفحه گسترده‌ها، نرم‌افزارهای ریاضی، شبیه‌سازهای صنعتی، واقعیت مجازی و افزوده، و ابزارهای متنوع هوش مصنوعی پرداخته می‌شود. همچنین، فرصت‌ها و چالش‌های موجود، در استفاده از فناوری‌های دیجیتال در آموزش مهندسی شیمی نیز بررسی می‌شوند. به علاوه، استنتاج‌های کلیدی، برای استفاده بهینه از فناوری‌های دیجیتال در آموزش مهندسی شیمی و توسعه مهارت‌های حرفه‌ای دانشجویان ارائه می‌شود. این مقاله می‌تواند به دانشجویان، اساتید و محققان در حوزه مهندسی شیمی کمک کند تا با استفاده از فناوری‌های دیجیتال، آموزش مهندسی شیمی را بهبود و ضمن تبدیل چالش‌ها به فرصت‌های جدید، برای خلق ابزارهای پیشرفته، راهکارهایی مناسب را برای استفاده بهینه از این فناوری‌ها در برنامه‌های آموزشی ایجاد و تجربه نمایند.

**واژگان کلیدی:** فناوری‌های دیجیتال، آموزش مهندسی، شبیه‌سازی، هوش مصنوعی، واقعیت مجازی، واقعیت افزوده

۱- \* استادیار دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)، تهران، ایران. (نویسنده مسئول). sahloodin@aut.ac.ir

۲- \* استاد دانشکده مهندسی شیمی دانشکده فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول). sotedeh@ut.ac.ir

## ۱. مقدمه

توسعه و فراگیری فناوری‌های دیجیتال از نیمه دوم قرن بیستم میلادی، این قرن را به عصر دیجیتالی مشهور کرد. با اختراع و آسان شدن دسترسی به رایانه‌های دیجیتال، استفاده از آنها در عرصه‌های اداری، صنعتی و آموزشی فراگیر شد. به عنوان مثال نرم‌افزارهای صفحه گسترده<sup>۱</sup>، به عنوان ابزارهایی مفید و کاربردی برای نگهداری منظم و تحلیل داده و انجام محاسبات ریاضی متداول، جایگزین محاسبات دستی و کاغذی شد. در اواخر قرن بیستم و هم‌زمان با توسعه سخت‌افزاری و نرم‌افزاری ابزارهای دیجیتال و وابسته شدن جوامع به آنها، آموزش این ابزارها به دانشجویان و استفاده از آنها در برنامه درسی رشته‌های مختلف دانشگاهی، از جمله مهندسی مورد توجه برنامه‌ریزان آموزشی قرار گرفت. رشته مهندسی شیمی نیز به عنوان یکی از شاخه‌های مهندسی که ارتباط تنگاتنگی با مسائل طراحی و محاسباتی دارد، از این قاعده مستثنی نبوده است. به عنوان مثال، دروسی مانند کارگاه نرم‌افزار برای تدریس زبان‌های برنامه‌نویسی<sup>۲</sup> و نرم‌افزارهای شبیه‌سازی فرایند (Sotudeh-Gharebagh & Zia-Zarifi, 2005) به بخشی از برنامه مهندسی شیمی تبدیل شده‌اند. کتاب‌های متعددی نیز مانند (Adams II, 2022; Coker & Sotudeh-Gharebagh, 2022; Sotudeh-Gharebagh & Jabbari, 2021) در این خصوص برای دانشجویان تألیف شده است. برخی کتاب‌های اصلی مهندسی شیمی نیز که سال‌ها در دانشگاه‌های دنیا تدریس می‌شده است، مورد بازنگری قرار گرفته‌اند و در ویرایش‌های بعدی خود، از نرم‌افزارهای مرتبط برای بهبود انتقال مفاهیم و آموزش دانشجویان استفاده کرده‌اند. به عنوان مثال، کتاب سه جلدی "طراحی فرایند کاربردی برای کارخانه‌های شیمیایی و پتروشیمی" (Ludwig, 2001) که از مهم‌ترین کتاب‌های طراحی محسوب می‌شود، به درخواست ناشر و به وسیله یکی از نویسندگان بنام، به روزرسانی شده و به نام این نویسنده جدید، به چاپ رسیده است (Coker, 2007). در این به‌روزرسانی، مباحث جدیدی اضافه شده است تا خوانندگان بتوانند با نرم‌افزار اکسل و شبیه‌سازی<sup>۳</sup> به تجزیه و تحلیل کاربردی مسائل و طراحی فرایند و تجهیزات اقدام کنند. کتاب "مهندسی واکنش‌های شیمیایی" نوشته فاکلر (Fogler, 2021) نیز یک نمونه عالی از ترکیب ابزارهای متنوع دیجیتال و بسته‌های دیجیتالی تعاملی تحت وب را برای ارتقای یادگیری دانشجویان ارائه می‌دهد. همچنین کتاب دینامیک و کنترل فرایند (Seborg et al., 2017) در ویرایش‌های جدید خود، به معرفی و استفاده از ابزارهایی مانند Matlab simulink و Labview به منظور انتقال بهتر مفاهیم کنترل فرایند به دانشجویان پرداخته است.

با رشد سریع فناوری‌های دیجیتال در قرن بیست و یکم و افزایش نجومی سرعت محاسبات از هزار

1- Spreadsheets

2- <https://cutt.ly/awNavP3g>, accessed on Feb. 2024 (Amirkabir University of Technology)

3- UniSim©

گیگا فلاپس<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۷ به یک میلیارد گیگا فلاپس در سال ۲۰۲۲<sup>۲</sup>، به ویژه پیشرفت علمی مانند هوش مصنوعی و علم داده، ابزارهای دیجیتال، مفهومی به مراتب فراتر از نرم‌افزارهایی محاسباتی با شبیه‌سازی پیدا کرده‌اند. دامنه این رشد و تجاری‌سازی‌های مرتبط با آن به حدی وسیع بوده است که از آن به عنوان انقلاب صنعتی چهارم<sup>۳</sup> یاد می‌شود. انتظار می‌رود انقلاب صنعتی چهارم به یکپارچه‌سازی هدفمند فناوری‌هایی، مانند هوش مصنوعی، علوم داده، محاسبات کوانتوم، و اینترنت اشیا تغییرات اساسی در نحوه کارکرد صنایع منجر شود. نمونه این تغییرات، سوق دادن صنایع به سمت سطوح بالای اتوماسیون از طریق ایجاد بسترهای خودکار تبادل داده بین تجهیزات ماشینی و نیز بین اپراتور انسانی و این تجهیزات است. سطح بالای اتوماسیون می‌تواند نیاز به دخالت انسان در فرایندهای تولید را کاهش دهد و باعث افزایش بهره‌وری شود.

همگام با شروع انقلاب صنعتی چهارم و سوق تدریجی صنایع به دیجیتالی شدن<sup>۴</sup>، این موضوع در کنار صنعت مورد توجه دانشگاه‌ها نیز قرار گرفته است. با تغییر رویکرد صنایع به سمت دیجیتالی شدن به عنوان یک ابررود<sup>۵</sup> (Udugama et al., 2023)، دانش‌آموختگان مهندسی شیمی امروز نه تنها باید دارای دانش کلاسیک مهندسی شیمی باشند، بلکه باید تا حدی نیز مجهز به دانش فناوری‌های دیجیتال و کاربردهای آن در صنایع مرتبط باشند. تنها در این صورت است که این افراد می‌توانند صنایع شیمیایی را با تکیه بر توان داخلی و استفاده مطلوب از کمک‌های بین‌المللی از نظر دیجیتالی شدن و افزایش بهره‌وری به‌روزرسانی کنند. طبق مشاهدات نویسندگان این مقاله، متأسفانه دانشجویان مهندسی شیمی، حتی در مقطع کارشناسی ارشد، با برخی ابزارهای متداول مهندسی شیمی، مانند صفحه گسترده‌ها، نرم‌افزارهای محاسباتی چون متلب<sup>۶</sup> یا شبیه‌سازهای فرایند آشنایی کافی ندارند یا حتی از آن استفاده نیز نکرده‌اند. این نشان می‌دهد در برخی از دانشگاه‌ها، آموزش مهارت‌های نرم‌افزاری یا استفاده از ابزارهای دیجیتال معمول در دروس مهندسی وجود ندارد یا به اندازه کافی جدی گرفته نمی‌شود. جهت ایجاد مهارت‌های دیجیتالی لازم در دانشجویان و به تبع آن در دانش‌آموختگان، لازم است نحوه تدریس و استفاده از ابزارهای دیجیتال در دانشگاه‌ها به‌روزرسانی شود. قدم اول در این راه، شناخت درست سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان درسی از مفاهیمی مانند دیجیتالی شدن و ابزارهای متداول دیجیتال در آموزش مهندسی است. این ابزارها از سویی می‌توانند به ارتقای آموزش مهندسی به دانشجویان کمک کند و از سوی دیگر، دانش‌آموختگان را مجهز به دانش لازم برای به‌روزرسانی صنایع با هدف استفاده بهینه از ابزارهای دیجیتال نمایند.

1- Floating-point operations per second (FLOPS)

2- <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386670>, accessed on Feb. 2024

3- [https://en.wikipedia.org/wiki/Fourth\\_Industrial\\_Revolution](https://en.wikipedia.org/wiki/Fourth_Industrial_Revolution)

4- Digitalization

5- Megatrend

6- Matlab

امروزه ابزارهای دیجیتال، گستره وسیعی از نرم‌افزارهای قدیمی محاسباتی و شبیه‌سازی تا ابزارهای نوین مبتنی بر هوش مصنوعی را شامل می‌شود. کاربرد ابزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی به حدی است که گفته می‌شود تا ۴۰ درصد اشتغال جهانی می‌تواند تحت تأثیر آن واقع شود (Cazzaniga et al., 2024). این موضوع سؤالات متعددی را برای برنامه‌ریزان آموزشی که دغدغه به‌روزرسانی شیوه و محتوای آموزش مهندسی شیمی را دارند، ایجاد کرده است. از جمله:

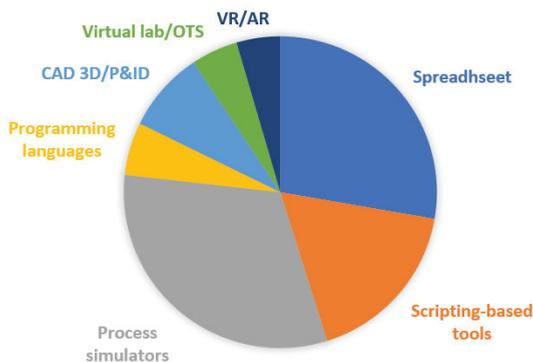
۱. در به‌روزرسانی برنامه درسی چه مطالبی باید آموزش داده شود تا به کارگیری ابزارهای دیجیتال توسط دانش‌آموختگان در صنایع تسهیل شود؟ (Udugama et al., 2023)
۲. چگونه می‌توان از ابزارهای دیجیتال در آموزش و پژوهش در مهندسی شیمی استفاده کرد؟ (Udugama et al., 2023)
۳. آزمایشگاه‌ها و تجهیزات نیمه‌صنعتی در دانشگاه‌ها چطور باید به فناوری‌های دیجیتال مجهز شوند؟
۴. اساتید چگونه باید برای استفاده از ابزارهای دیجیتال به دانشجویان آماده شوند؟
۵. سازمان‌های اعتباربخشی به برنامه‌های مهندسی، مانند ABET<sup>۱</sup> چگونه باید معیارها و شیوه ارزیابی خود را با روندهای دیجیتالی شدن تطبیق دهند؟

برای پاسخ به این گونه سؤالات باید پژوهش‌های جدی از سوی سیاست‌گذاران آموزشی صورت گیرد. در این راستا لازم است از دانشگاه‌ها که متولی امر آموزش هستند، تا دانش‌آموختگان شاغل در صنعت و صنایع به طور عام نظرسنجی‌های جداگانه و تخصصی صورت گیرد. تحلیل نتایج این نظرسنجی‌ها، به فهم بهتر نیازهای صنعت در حوزه دیجیتالی شدن و به تبع آن، برنامه‌ریزی آموزشی مناسب به منظور پاسخ به این نیاز در دانشگاه کمک شایانی خواهد کرد. تا آنجا که نویسندگان مطلع هستند، چنین نظرسنجی‌ای هنوز در ایران گزارش نشده است. اما اخیراً نظرسنجی‌هایی در کشورهایمانند نیوزلند (Udugama et al., 2023, 2022) انجام شده و نتایج آن به چاپ رسیده است. برای پاسخ به سؤال اول از فهرست بالا، (Udugama et al., 2022) سه نظرسنجی از دانش‌آموختگان مهندسی شیمی دانشگاه آکلند<sup>۲</sup>، اساتید دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه این دانشگاه و متخصصان بین‌المللی فناوری‌های دیجیتال انجام دادند. جمع‌بندی مطالعه مذکور این بود که باید یک روش ترکیبی، شامل تعریف دروس جدید یا اضافه نمودن مباحث تکمیلی در خصوص مفاهیم دیجیتالی کردن در دروس فعلی به کار گرفته شود.

برای پاسخ به سؤال دوم در خصوص چگونگی استفاده از ابزارهای دیجیتال در آموزش مهندسی شیمی، اودوگاما<sup>۳</sup> و همکاران به مرور منابع علمی مرتبط در خصوص ابزارهای دیجیتال موجود، از نرم‌افزارهایی مانند اکسل گرفته تا واقعیت افزوده، پرداختند (Udugama et al., 2023). سپس این ابزارها

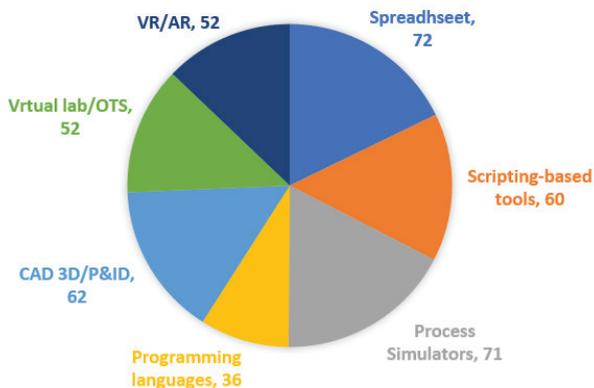
را تحت عنوان هفت فناوری کلی شامل ۱) نرم‌افزارهای صفحه‌گسترده مانند اکسل، ۲) نرم‌افزارهای کدنویسی و محاسبات مهندسی مانند متلب، ۳) شبیه‌سازهای تجاری فرایند، ۴) زبان‌های برنامه‌نویسی، ۵) نرم‌افزارهای رسم سه‌بعدی مانند اتوکد، ۶) آزمایشگاه‌های مجازی و شبیه‌سازهای آموزش اپراتور (۷) واقعیت مجازی و واقعیت افزوده دسته‌بندی کردند. با این دسته‌بندی، نظرسنجی هدفمندی را جهت شناسایی مزایا و نیز محدودیت‌های اقتصادی و عملی استفاده از این فناوری‌ها در آموزش دروس اصلی مهندسی شیمی، شامل ترمودینامیک، موازنه جرم و انرژی، انتقال جرم و حرارت، راکتور، فرایندهای جداسازی، طراحی فرایند، کنترل فرایند و ایمنی فرایند طراحی کردند. پاسخ‌دهندگان به این نظرسنجی باید اعلام می‌کردند که در هر یک از این دروس، از کدام یک از ابزارهای دیجیتال هفت‌گانه (در صورت موجود بودن) استفاده می‌کردند. پاسخ‌دهندگان همچنین اجازه داشتند برای یک درس معین، به بیش از یک ابزار اشاره کنند.

نظرات پاسخ‌دهندگان به تفکیک درس و ابزارهای دیجیتال مورد استفاده در هر درس، در (Udu- gama et al. , 2023) گزارش شده است. در مقاله حاضر، با استفاده از داده‌های مرجع فوق، نتایج بدون تفکیک درس به صورت نمودار شکل ۱ آورده شده است. برای تهیه این نمودار، علاقه‌مندی پاسخ‌دهندگان به یک ابزار خاص (مانند شبیه‌سازی فرایند) در همه دروس مورد بحث، جمع زده شده است. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، ابزارهایی که بیشترین اقبال را از سوی مدرسان دارند، شبیه‌سازهای فرایند و نرم‌های صفحه‌گسترده مانند اکسل هستند. پس از آن نرم‌افزارهای محاسبات مهندسی، مانند متلب در جایگاه سوم قرار دارد. پاسخ‌دهندگان به پرسش‌نامه، سهم کمی را برای ابزارهای دیجیتال دیگر در تدریس خود قائل هستند. البته این سهم کم لزوماً به معنای مفید نبودن ابزارهای دیگر، مانند واقعیت مجازی و افزوده در ارتقای تدریس نیست.



شکل ۱. تمایل پاسخ‌دهندگان به استفاده از ابزارهای دیجیتال در تدریس دروس

لازم به ذکر است که پاسخ‌دهندگان، به دلیل در دسترس نبودن ابزارهای پیشرفته و آشنا نبودن خود یا دانشجویان با نحوه استفاده از آنها، ترجیح داده‌اند از ابزارهای متداول‌تر که به مهارت کمتری نیاز دارند، استفاده کنند. به عنوان مثال زبان‌های برنامه‌نویسی مانند سی پلاس، علی‌رغم کاربرد فراوان، به دلیل نیاز به دانش تخصصی برنامه‌نویسی و صرف وقت بیشتر نسبت به متلب<sup>۲</sup>، کمتر به عنوان یک ابزار کمک آموزشی در تدریس مورد اقبال دانشجویان و اساتید قرار می‌گیرند. شاهد این مدعی نمودار شکل ۲ است که مفید بودن هر یک از ابزارهای دیجیتال مذکور در تدریس را از نظر همان پاسخ‌دهندگان نشان می‌دهد. مانند نمودار دایره‌ای شکل ۱، این نمودار نیز از داده‌های مرجع (Udugama et al., 2023) استخراج شده است که در آن پاسخ‌دهندگان، مفید بودن هر یک از ابزارهای دیجیتال را برای ارتقای تدریس در مقطع کارشناسی به صورت کیفی با عبارات "عالی"، "خیلی خوب"، "خوب"، "متوسط"، و "ضعیف" رتبه‌بندی کردند. در مقاله حاضر با اختصاص ضرایب وزنی ۵، ۴، ۳، ۲، و ۱ به عبارات "عالی" تا "ضعیف" نتایج این نظرسنجی به صورت کمی درآمده و در نمودار دایره‌ای شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲. مفید بودن هر یک از ابزارهای دیجیتال در تدریس دروس از نظر پاسخ‌دهندگان

اعداد نشان‌دهنده در کنار هر قطاع، بیانگر امتیاز مفید بودن ابزار مربوط از نظر پاسخ‌دهندگان و با در نظر گرفتن ضرایب وزنی است. جهت مقایسه، عدد ۸۰ بالاترین امتیازی است که یک ابزار می‌توانست کسب کند، در صورتی که همه پاسخ‌دهندگان میزان مفید بودن آن را "عالی" در نظر گرفته باشند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، پاسخ‌دهندگان معتقد هستند که ابزارهای رسم سه‌بعدی و ابزارهای جدیدی مانند واقعیت مجازی و افزوده و آزمایشگاه مجازی، در ارتقای سطح تدریس بسیار

مفید هستند. لذا همان طور که گفته شد، علت عدم اقبال کافی پاسخ دهندگان به ابزارهای جدید را می توان صرفاً در سختی دسترسی به این ابزارها با توجه به امکانات فعلی در نظر گرفت و این نافی مفید بودن این ابزارها در تدریس نیست. در واقع عدم تمایل به استفاده از یک فناوری جدید مانند واقعیت مجازی در عین اعتقاد به اهمیت آن، نیروی محرکه ای است که می تواند باعث حرکت در دسترس پذیرتر شدن این فناوری ها شود. البته ذکر این نکته ضروری است که نظرسنجی انجام شده در (Udugama et al., 2023) از جمعیت آماری بسیار کوچک اما با تخصص های متنوع در حوزه مهندسی شیمی گرفته شده است. پیشنهاد می شود در آینده، مشابه این نظرسنجی، از دانشگاهیان داخلی و در یک جامعه آماری به مراتب بزرگتر انجام شود.

با توجه به حرکت پرشتاب صنایع شیمیایی به سمت دیجیتالی شدن و نقش فناوری های دیجیتال در افزایش بهره وری تولید و توسعه پایدار (Little, 2023)، نیاز است جایگاه این فناوری ها در برنامه درسی مهندسی شیمی ارتقا یابد. مقاله حاضر در تلاش است تا با مرور فناوری های دیجیتال در مهندسی شیمی و وضعیت فعلی استفاده از آنها در برنامه های درسی، فواید و چالش های استفاده از این فناوری ها، به ویژه فناوری های نوظهوری مانند هوش مصنوعی مولد<sup>۱</sup> را در برنامه آموزشی مهندسی شیمی مورد بررسی قرار دهد. طبعاً استفاده از این فناوری ها جهت ارتقای آموزش و سطح مهارت دانش آموختگان، ملزومات و چالش هایی دارد که در این مقاله به آن پرداخته می شود.

## ۲. فناوری های دیجیتال و کاربرد آنها در مهندسی شیمی

در این بخش فناوری های دیجیتال مورد استفاده در مهندسی شیمی، دسته بندی و معرفی می شوند. از آن جایی که همه این فناوری ها از لحاظ قدمت و گستره استفاده، یکسان نیستند، تقسیم بندی آنها در سه دسته فناوری های متداول، پیشرفته، و مبتنی بر هوش مصنوعی مولد انجام شده است.

### ۲-۱. فناوری های دیجیتال متداول در مهندسی شیمی

#### ۲-۱-۱. نرم افزارهای صفحه گسترده

نرم افزارهای صفحه گسترده، به عنوان یک ابزار چندمنظوره، به طور وسیعی در مشاغل مختلف اداری و صنعتی مورد استفاده قرار می گیرند. مزیت های اصلی این نرم افزارها، استفاده آسان از آنها با حداقل آموزش، امکانات زیاد در انجام محاسبات معمول ریاضی و مصورسازی نتایج، در قالب انواع نمودارهای دو یا سه بعدی است. برای کاربردهای پیشرفته با بیش از ۳۰۰ تابع داخلی<sup>۲</sup> این نرم افزارها قابلیت هایی، مانند حل انواع معادلات، مسائل بهینه سازی غیرخطی و محاسبات فنی و اقتصادی را نیز ارائه

می‌دهند. کاربران پیشرفته می‌توانند با برنامه‌نویسی (مانند VBA<sup>۱</sup> در اکسل) و ایجاد ماکرو، مدل‌ها و محاسبات پیچیده را نیز در نرم‌افزارهای صفحه‌گسترده پیاده کنند.

نرم‌افزارهای صفحه‌گسترده می‌توانند در آموزش دروس مهندسی شیمی که با محاسبات سروکار دارند، مورد استفاده قرار بگیرند. انجام تحلیل حساسیت<sup>۲</sup> یا مطالعات موردی<sup>۳</sup>، برازش<sup>۴</sup> منحنی و تخمین پارامترهای مدل، از کاربردهای مهم این نرم‌افزارها در دروسی مانند طراحی رآکتور و بهینه‌سازی فرایند است که به وسیله ابزارهای بهینه‌سازی نرم‌افزار قابل انجام است. در درس شبیه‌سازی فرایند نیز می‌توان از قابلیت‌های برنامه‌نویسی VBA برای توسعه مدل یک تجهیز جدید و اتصال آن به شبیه‌سازی فرایند، مانند اسپن پلاس<sup>۵</sup> بهره برد. البته صفحه‌گسترده‌ها بسیار متنوع هستند و فهرست ده صفحه‌گسترده کاربردی مهم در سایت Semrush با ویژگی‌های مثبت و منفی آنها آورده شده است.<sup>۶</sup>

## ۲-۱-۲. نرم‌افزارهای محاسبات مهندسی

منظور از نرم‌افزارهای محاسبات مهندسی، نرم‌افزارهایی است که حاوی توابع محاسباتی تخصصی ازپیش‌نوشته‌شده<sup>۷</sup> هستند که می‌توانند با یک رابط گرافیکی کاربر (GUI)<sup>۸</sup> یا زبان برنامه‌نویسی سطح بالا<sup>۹</sup> مورد استفاده قرار گیرند. کاربر می‌تواند در محیط این نرم‌افزارها، بدون نیاز به دانش تخصصی برنامه‌نویسی، توابع محاسباتی را با دستورات معین فراخوانده و مدل‌های پیچیده فیزیکی را پیاده‌سازی و شبیه‌سازی کند. نرم‌افزارهایی مانند متلب<sup>۱۰</sup>، پایتون<sup>۱۱</sup>، اسکیلاب<sup>۱۲</sup> و اکتاو<sup>۱۳</sup>، از این دسته نرم‌افزارها هستند. نرم‌افزارهایی مانند متلب و پایتون، به طور گسترده در دروسی مانند محاسبات عددی، کاربرد ریاضیات در مهندسی شیمی، بهینه‌سازی فرایند و کنترل فرایند استفاده می‌شوند. شایان ذکر است که نرم‌افزار اکتاو به صورت رایگان ارائه می‌شود و به گونه‌ای توسعه داده شده است که کد و غالب دستورات متلب، در آن عیناً قابل اجرا باشد. نرم‌افزار اسکیلاب نیز رایگان است و دارای ابزارهای محاسبات تخصصی مشابه متلب است. به عنوان مثال ابزار اکسی‌اُس<sup>۱۴</sup> در اسکیلاب مشابه سیمولینک<sup>۱۵</sup> در متلب، یک محیط گرافیکی برای شبیه‌سازی دینامیک سامانه‌ها و کنترل ارائه می‌دهد که می‌تواند در درس کنترل فرایند مورد استفاده قرار گیرد. در درس شبیه‌سازی فرایند نیز دانشجویان می‌توانند از طریق پروتکل CAPE-OPEN<sup>۱۶</sup> از این نرم‌افزارها برای پیاده‌سازی مدل تجهیزات خاص (مانند مازول غشایی) و جاسازی آن در شبیه‌سازی فرایند که این تجهیز در آن به صورت ازپیش‌ساخته وجود ندارد، استفاده کنند.

1- Visual Basic for Applications (VBA)

2- Sensitivity analysis

3- Case studies

4- Regression

5- Aspen Plus

6- <https://www.semrush.com/blog/spreadsheet-software>, accessed on Feb. 2024

7- Built-in

8- Graphic user interface (GUI)

9- High-level programming languages

10- Matlab

11- Python

12- <https://www.scilab.org>

13- Octave

14- xcos

15- Simulink

16- <https://www.colan.org>

## ۲-۱-۳. زبان‌های برنامه‌نویسی

بر خلاف نرم‌افزارهای محاسبات مهندسی، زبان‌های برنامه‌نویسی مانند فرتن، C و ++C دارای توابع و ساختارهای آماده برای محاسبات مهندسی نیستند و استفاده از آنها، نیاز به حدی از دانش برنامه‌نویسی دارد که غالباً توقع نمی‌رود دانشجویان عادی از آن برخوردار باشند. اما در عوض، این زبان‌ها با داشتن ساختار برنامه‌نویسی نزدیک به زبان ماشین، به کاربران حرفه‌ای اجازه می‌دهد برنامه‌هایی را توسعه دهند که زمان اجرای به مراتب کوتاه‌تری نسبت به نرم‌افزارهای محاسبات مهندسی مانند متلب داشته باشد. به عنوان مثال، فرایند تنسی ایستمن که به عنوان یک فرایند شاهد جهت آزمودن روش‌های بهینه‌سازی و کنترل در (Downs & Vogel, 1993) معرفی شد، به وسیله نویسندگان آن مقاله در زبان فرتن پیاده شد. لذا داشتن دانش متوسط برنامه‌نویسی در یک یا چند نوع از این زبان‌ها به دانشجویان توصیه می‌شود. در مواردی حتی استفاده از این زبان‌ها برای مهندسان شیمی که به شبیه‌سازی فرایندهای غیرمعمول می‌پردازند، اجتناب‌ناپذیر است. به عنوان مثال، برای شبیه‌سازی ماژول غشایی در اسپن‌پلاس، کاربر باید مدل مربوط را در زبان‌هایی مانند فرتن پیاده و به شبیه‌ساز اضافه کند. لذا تسلط به زبان‌هایی مانند فرتن و سی‌پلاس به همراه تفکر برنامه‌نویسی شی‌گرا، مزیت عمده‌ای به مهندسان شیمی در خلق ابزارهای دیجیتال جدید مرتبط با این رشته می‌دهد. به دلیل اهمیت این موضوع و این که دروس برنامه‌نویسی غالباً در سال آغازین که دانشجویان با مفاهیم مهندسی شیمی آشنا نیستند ارائه می‌شود، (Teles dos Santos et al., 2018) پیشنهاد کردند که درس برنامه‌نویسی دیگری به صورت اختیاری به دانشجویان سال آخر ارائه شود تا دانشجویان بتوانند برنامه‌نویسی پیشرفته را با مثال‌های مهندسی شیمی فرا بگیرند.

## ۲-۱-۴. نرم‌افزارهای کاربردی موضوع محور

منظور از نرم‌افزارهای موضوع محور برنامه‌هایی کاربردی است که برای یک درس یا موضوع خاص توسعه داده شده‌اند. به عنوان مثال، نرم‌افزار فست<sup>۲</sup> یک ابزار تخصصی تحلیل مخاطرات و ایمنی فرایندی است که در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نرم‌افزارهای موضوع محور محاسبات مورد نیاز از پیش تعریف شده است و تمرکز کاربر بر تعریف سناریو و استفاده از گزینه‌های مناسب نرم‌افزار برای حل یا تحلیل آن است. البته برخی نرم‌افزارها که لزوماً محاسبات خاصی را انجام نمی‌دهند و بیشتر حاوی داده‌های دستنامه‌ای<sup>۳</sup> مانند خواص مواد هستند را نیز می‌توان در این دسته جای داد. نرم‌افزار<sup>۴</sup> Chemical reactivity worksheet که برای بررسی مخاطرات شیمیایی مخلوط‌ها به کار می‌رود از این دسته است.

1- Object-oriented programming

2- <https://www.dnv.com/software/services/plant/consequence-analysis-phast.html>

3- Handbook

4- <https://www.aiche.org/ccps/resources/downloadinstall>

## ۲-۱-۵. ابزارهای رسم نمودارهای فرایندی و تصویرنمایی سه بعدی

نرم افزارهای رسم CAD<sup>۱</sup> با امکانات تخصصی خود، جایگاه ویژه‌ای در رسم و طراحی در رشته‌های مختلف مهندسی دارند. در مهندسی شیمی می‌توان از این نرم افزارها در رسم دیاگرام جعبه‌ای فرایند<sup>۲</sup>، دیاگرام جریان فرایند<sup>۳</sup> و دیاگرام لوله‌کشی و ابزار دقیق<sup>۴</sup> استفاده کرد. در دروسی مانند کارگاه نقشه‌خوانی و نقشه‌کشی فرایند، دانشجویان از نرم افزار CAD برای رسم دیاگرام‌های مذکور استفاده می‌کنند. همچنین قابلیت‌های رسم و نمایش سه بعدی در برخی از این نرم افزارها، امکان درک بهتر ساختار فرایند، اندازه تجهیزات و اتصالات موجود در آن را به دانشجویان می‌دهد. لذا استفاده از این نرم افزارها باعث ارتقای کیفیت آموزش در دروسی مانند طراحی فرایند و حتی طراحی محصول می‌شود.

## ۲-۱-۶. شبیه‌سازهای صنعتی

شبیه‌سازهای تجاری از دهه‌ها پیش برای طراحی، بهبود و بهینه‌سازی فرایند و نیز ارزیابی اقتصادی و یافتن گلوگاه‌های بهره‌برداری مورد استفاده مهندسان شاغل در صنعت بوده است. همگام با این روند، آموزش آن در برنامه کارشناسی مهندسی شیمی، در دانشگاه‌های دنیا مورد توجه قرار گرفته است. از یک دیدگاه می‌توان شبیه‌سازها را به دو دسته زیر تقسیم کرد:

۶. شبیه‌سازهای تجهیزات یا پدیده‌های فرایندی، مانند Ansys Fluent، COMSOL، و OpenFOAM که برای بررسی دقیق پارامترهای وابسته به مکان و زمان در تجهیز با حل هم‌زمان معادلات پدیده‌های انتقال، شامل مومنتم، حرارت، جرم و نیز واکنش‌های شیمیایی مناسب به کار می‌روند. استفاده از این شبیه‌سازها در دروسی که به بررسی این پدیده‌ها درون تجهیزات می‌پردازد، توصیه می‌شود.

۷. شبیه‌سازهای فرایند (یا فلوشیت)، مانند Aspen Plus، Aspen HYSYS، و PROII که قادر هستند یک فرایند جامع حاوی تجهیزات مختلف را شبیه‌سازی کنند. این شبیه‌سازها در دروسی مانند ترمودینامیک، مکانیک سیالات، عملیات واحد، ایمنی فرایند، کنترل فرایند، طراحی فرایند، و طرح و اقتصاد مهندسی شیمی، کاربرد فراوان دارند.

در سال‌های اخیر شرکت‌های تولیدکننده شبیه‌سازهای فرایندی، مانند Aspen Technology، با شتاب قابل توجهی ارتقا یافته‌اند و تنوع بخشی محصولات خود را با استفاده از علوم داده و ابزارهای هوش مصنوعی از جمله یادگیری ماشینی در برنامه قرار داده‌اند. این حرکت در پاسخ به اشتیاق صنایع شیمیایی به افزایش بهره‌وری از طریق دیجیتالی شدن و استفاده از ابزارهای جدیدی، مانند دوقلوی دیجیتال و اینترنت اشیا صورت می‌گیرد. خوانندگان می‌توانند جهت جزئیات بیشتر به وب‌سایت شرکت Aspen Technology<sup>۵</sup> مراجعه کنند.

1- Computer-Aided Design (CAD)

2- Block Flow Diagram (BFD)

3- Process Flow Diagram (PFD)

4- Piping and Instrumentation Diagram (P&amp;ID)

5- <https://www.aspentech.com/en>

## ۲-۲. فناوری‌های دیجیتال پیشرفته در مهندسی شیمی

با پیشرفت سریع فناوری‌های دیجیتال در سال‌های اخیر، ابزارهای جدیدی به وجود آمده است که تجربه‌ای به مراتب فراتر از فناوری‌های متداول را به کاربر می‌دهد. در جدول ۱ فهرست تعدادی از فناوری‌های منتخب دیجیتال پیشرفته با کاربرد آموزشی و صنعتی در مهندسی شیمی آورده شده است.

جدول ۱. فناوری‌های منتخب دیجیتال پیشرفته با کاربرد آموزشی و صنعتی در مهندسی شیمی

ردیف	نام فناوری	تعریف اجمالی	کاربردها
۱	دوقلوی دیجیتال	تقلید عملکرد دینامیکی یک تجهیز یا فرایند به صورت هم‌زمان با نسخه دیجیتال آن، بر مبنای شبیه‌سازی دقیق و به‌روزرسانی مستمر مدل با داده‌های واقعی (Guo et al., 2023)	<ul style="list-style-type: none"> <li>پایش و پیش‌بینی زمان خرابی تجهیز</li> <li>بهینه‌سازی و بهبود فرایند، عیب‌یابی از راه دور</li> </ul>
۲	مجازی	شبیه‌سازی تجربه فضای واقعی (مانند یک فرایند شیمیایی) با خلق رایانه‌ای محیط سه‌بعدی تعاملی با کاربر و استفاده از حسگرها و تجهیزات مصورسازی خاص جهت القای حس حضور فیزیکی کاربر	<ul style="list-style-type: none"> <li>شبیه‌سازی آموزش بدون نیاز به محیط واقعی</li> <li>بازدید مجازی از کارخانه</li> <li>آزمایشگاه مجازی</li> </ul>
	افزوده	افزودن لایه‌های دیجیتالی به دنیای واقعی (مانند تجهیز فرایندی) جهت ایجاد تعامل به‌هنگام و ارتقای تجربه و درک کاربر از تجهیز مورد نظر	<ul style="list-style-type: none"> <li>آموزش ترکیبی محیط شبیه‌سازی-واقعی</li> <li>ایجاد فضای کار گروهی از راه دور با به‌اشتراک‌گذاشتن محیط مجازی واحد</li> <li>آزمایشگاه مجازی</li> </ul>
۳	محاسبات ابری	انجام پردازش و ذخیره اطلاعات با به‌اشتراک‌گذاری منابع محاسباتی توزیع شده شبکه‌ای از سرورها در بستر اینترنت	<ul style="list-style-type: none"> <li>کاهش هزینه زیرساختی و عملیاتی</li> <li>ذخیره حجم بالای اطلاعات</li> <li>قابلیت استفاده از خدمات ابری بدون پیش‌نیازهای سخت‌افزاری-نرم‌افزاری ویژه</li> </ul>
۴	محاسبات کوانتومی	انجام محاسبات بسیار پیچیده و زمان‌بر با استفاده از اصول مکانیک کوانتم با سرعتی به مراتب بالاتر نسبت رایانه‌های معمولی	<ul style="list-style-type: none"> <li>شبیه‌سازی مولکولی</li> <li>طراحی مواد با خواص ارتقایافته</li> <li>طراحی انواع داروها</li> <li>طراحی فرمولاسیون‌های جدید (Little, 2023)</li> </ul>

لازم به ذکر است که نمی‌توان مرزبندی دقیقی بین فناوری‌های دیجیتال متداول و پیشرفته انجام داد. برخی فناوری‌های پیشرفته، مانند دوقلوی دیجیتال، در واقع ترکیبی نو از فناوری‌های متداول، مانند شبیه‌سازی فرایند علوم داده و هوش مصنوعی (به همراه سخت‌افزارهای مربوط، مانند حسگرها) هستند. همچنین هوش مصنوعی، به عنوان یک ابزار بین‌رشته‌ای در فناوری‌هایی مانند واقعیت مجازی و افزوده نقش کلیدی دارد. در واقع هوش مصنوعی را می‌توان به عنوان یک ابزار قدرتمند دانست که سهم بزرگی را در ارتقای اغلب فناوری‌های دیجیتال و خلق ابزارهای نو مانند واقعیت مجازی و افزوده و هوش مصنوعی مولد ایفا کرده است. از طرفی، صنعت به سرعت در حال دیجیتالی شدن و

جذب سرمایه‌گذاری روی فناوری‌های جدید است (Little, 2023). لذا لازم است این فناوری‌ها جایگاه ویژه‌ای در آموزش مهندسی پیدا کنند (Feise & Schaer, 2021). برآوردهای بازار جهانی صنایع شیمیایی دیجیتال نشان می‌دهد که در ۱۰ سال آینده فناوری‌های اینترنت اشیا، چاپ سه بعدی، واقعیت مجازی<sup>۱</sup>، واقعیت افزوده<sup>۲</sup>، هوش مصنوعی و دوقلوی دیجیتال اهمیت زیادی پیدا خواهند کرد<sup>۳</sup>. در این میان سهم بیش از ۶۰ درصدی در تولید ارزش افزوده در صنعت، به واقعیت مجازی و واقعیت افزوده اختصاص پیدا می‌کند<sup>۴</sup>. لذا آموزش این دو فناوری در کنار هوش مصنوعی اهمیت ویژه‌ای دارد که در بخش‌های بعدی به آن پرداخته می‌شود.

## ۲-۱. واقعیت افزوده و مجازی

موضوع استفاده از واقعیت افزوده و واقعیت مجازی، که می‌توان آن را به اختصار واقعیت افزایی نامید، به عنوان یک ابزار نوین یادگیری فعال در مهندسی شیمی اخیراً در مقالات متعددی مورد بحث واقع شده است. همان‌طور که در جدول ۱ ذکر شد، در واقعیت مجازی، کاربر حضور مجازی در یک فضای واقعی را تجربه می‌کند. در انواع پیشرفته واقعیت مجازی، کاربر به کمک ابزارهایی مانند دستکش‌های دارای حسگر و عینک‌های مخصوص، خود را به طور جزئی یا کامل<sup>۵</sup> غوطه‌ور در یک محیط شبیه‌سازی واقع‌گرایانه سه بعدی حس می‌کند. استفاده از این ابزار در آموزش که با طراحی و بهره‌برداری از تجهیزات فرایندی و پدیده‌های پیچیده فیزیکی- شیمیایی درون آن سروکار دارد، بسیار مفید خواهد بود. سابقه استفاده از واقعیت مجازی در آموزش مهندسی شیمی، به بیش از دو دهه پیش بازمی‌گردد. در دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه میشیگان، یک واحد شیمیایی دارای رآکتور کاتالیستی، در قالب یک برنامه کاربردی واقعیت مجازی توسط (Bell & Fogler, 1996) توسعه داده شد. در این برنامه دانشجویان وارد یک واحد شیمیایی مجازی می‌شدند و می‌توانستند ضمن بررسی و راه‌اندازی یک رآکتور کاتالیستی در مقیاس ماکرو، با ورود به لایه‌های میکرویی شبیه‌ساز، پدیده نفوذ به حفره‌های کاتالیست و غیرفعال شدن آن را حتی در سطح مولکولی مشاهده کنند. در تلاشی دیگر، یک ابزار واقعیت مجازی برای آموزش واحد تقطیر نفت خام از طریق تور مجازی واحد توسط (Norton et al., 2008) توسعه داده و معرفی شد. در (Pirola et al., 2020) نیز یک ابزار واقعیت مجازی با تکیه بر شبیه‌ساز دینامیکی DYN-SIM برای واحد تقطیر نفت خام توسعه داده شد. واقعیت مجازی چنانچه با مدل‌های ریاضی فرایندی ترکیب شود، می‌تواند کاربردی به مراتب فراتر از مشاهده

1- Virtual Reality (VR)

2- Augmented Reality (AR)

3- <https://newsinsightace.com/2023/05/29/digital-chemical-industry-market-size-share-and-trends-analysis-report-2023-2031-2/>

4- <https://www.insightanalytic.com/report/global-digital-chemical-industry-market-/1190>

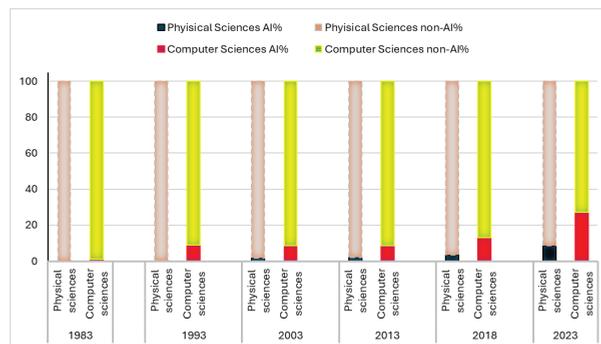
5- Semi- and fully immersive virtual reality

سه بعدی و تور مجازی داشته باشد (Kumar et al., 2021). در این صورت واقعیت مجازی می‌تواند برای شبیه‌سازی سناریوهای ایمنی و عملیاتی، مانند پدیده انفجار در راکتورها و طغیان در برج تقطیر، در دروسی مانند ایمنی فرایند و عملیات واحد استفاده شود.

در مواقعی که غوطه‌ور شدن کامل کاربر در محیط مجازی توجیهی ندارد و از طرفی نیاز است یک ارتباط تعاملی بین دنیای واقعی و مجازی ایجاد شود، فناوری واقعیت افزوده می‌تواند ابزار آموزشی کارآمدی باشد (Solmaz et al., 2021). در این فناوری، محتوای مجازی به صورت تعاملی، به دنیای واقعی افزوده می‌شود. اخیراً واقعیت افزوده در آموزش مهندسی شیمی مورد توجه قرار گرفته است (Udugama et al., 2023). در مقاله (Solmaz et al., 2021) یک ابزار واقعیت افزوده، برای آموزش مفاهیم مهندسی شیمی از طریق یک فرایند مجازی تولید صابون مایع ارائه شد. جهت مواجهه دانشجویان با چالش‌های افزایش مقیاس در اختلاط و یافتن طراحی بهینه، ابزار ارائه شده به شبیه‌ساز دینامیک سیالات محاسباتی نیز مجهز بود. ابزارهایی نیز برای آموزش عملکرد پمپ و مبدل حرارتی به کمک واقعیت افزوده توسط (Low et al., 2022) توسعه داده شد. در (Gunawan et al., 2021) نیز یک ابزار واقعیت افزوده، برای آموزش بهتر برج تقطیر در درس عملیات واحد توسعه داده شد.

### ۲-۳. فناوری‌های دیجیتال مبتنی بر هوش مصنوعی مولد

در دهه‌های اخیر، اقبال به هوش مصنوعی در پژوهش‌های دانشگاهی روبه‌افزایش بوده است. شکل ۳، درصد مقالات منتشر شده‌ای را که مرتبط با هوش مصنوعی هستند، در دو حوزه علوم فیزیکی و علوم رایانه نشان می‌دهد (Van Noorden & Perkel, 2023) همان‌طور که مشاهده می‌شود، از دهه هشتاد میلادی (که سهم مقالات مرتبط با هوش مصنوعی بسیار ناچیز بوده است) تا سال ۲۰۲۳ سهم مقالات مرتبط با هوش مصنوعی در علوم فیزیکی و علوم رایانه به ترتیب به حدود ۸ و ۲۷ درصد رشد کرده است. نکته جالب توجه این است که این رشد در حوزه علوم رایانه به مراتب بیشتر بوده است چرا که



شکل ۳. درصد مقالات حوزه علوم فیزیکی و علوم رایانه مرتبط با هوش مصنوعی

علوم رایانه زیرساخت‌های لازم را برای پیشرفت ابزارهای هوش مصنوعی در علوم و مهندسی فراهم می‌کند. یکی از این پیشرفت‌ها در سال‌های اخیر، توسعه فناوری هوش مصنوعی مولد است. این فناوری توانایی‌های شگرفی از جمله ایجاد محتوای جدید، مانند متن، کد رایانه‌ای، تصویر، صدا، ویدئو، خلاصه‌سازی و ویرایش متن، پرسش و پاسخ و طبقه‌بندی محتوی دارد. هوش مصنوعی مولد باعث تحول بنیادین در آموزش، پژوهش و فضای کسب‌وکار خواهد شد.

هوش مصنوعی مولد می‌تواند به عنوان یک ابزار کمکی در طراحی، محاسبات اقتصادی، مدل‌سازی، کدنویسی و ترسیم خودکار، به کمک مهندسان شیمی بیاید. شکل ۴ نمای سه‌بعدی یک واحد تقطیر نفت خام را که با هوش مصنوعی مولد رسم شده است، نشان می‌دهد. باید توجه داشت که با وجود شباهت ظاهری به یک فرایند تقطیر، نمی‌توان دقت شکل ترسیم شده را از نظر فنی به طور کامل تأیید کرد. در هر صورت، استفاده از ربات‌های ترسیم‌کننده می‌تواند نقطه شروع خوبی برای رسم شکل‌های پیچیده برای استفاده در کلاس یا ارائه‌های شفاهی باشد.



شکل ۴. نمای سه‌بعدی فرایند تقطیر نفت خام رسم شده با StableDiffusionXL

هوش مصنوعی مولد می‌تواند در مطالعات امکان‌سنجی و تهیه طرح اقتصادی فرایندی نیز مورد استفاده قرار گیرد. شکل ۵ طرح توجیه فنی و اقتصادی برای یک مینی‌پالایشگاه به ظرفیت ۲۰۰ بشکه در روز را که توسط ربات<sup>۲</sup> AIBusinessPlan تولید شده است، نشان می‌دهد. خروجی ارائه شده می‌تواند حدس اولیه خوبی جهت بررسی دقیق فنی و اقتصادی فرایند مورد نظر باشد. اما با توجه به تأثیر عواملی چون موقعیت جغرافیایی-سیاسی کشور مورد نظر و هزینه‌های تمام‌شده در آن، در استفاده مستقیم از نتایج تولیدشده توسط این‌گونه ربات‌ها باید احتیاط کرد. لازم به توضیح است که نسخه

1- <https://poe.com/StableDiffusionXL?chat=21s1djohn53gznt99og&botId=1579852#imageViewer>

2- <https://poe.com/AiBusinessPlan>

رایگان این ابزار هوش مصنوعی، محدودیت دفعات استفاده دارد و کاربران برای استفاده کامل باید اشتراک رسمی را دریافت کنند.

Please prepare a business plan for a minirefinery with the capacity of 200 BPD crude oil in 200 Words.

AiBusinessPlan Poe

I wish to establish a mini-refinery with a capacity of 200 barrels per day (BPD) for the efficient processing of crude oil, meeting the local demand for refined products and reducing dependence on imports.

Component	Description
Idea Name	Petrolite Refinery
One Liner	Providing a local, sustainable solution for refining crude oil with a 200 BPD mini-refinery, meeting the demand for quality refined products in the region.
Target User Persona	Local oil producers, small-scale refiners, and distributors in need of reliable and efficient refining services.
User's pain Points	Dependence on imports for refined products, lack of local refining options, high transportation costs, limited access to quality refined products.
Key Activities	Refining operations, logistics management, quality control, customer relationship management.
Key Resources	Mini-refinery unit, skilled workforce, crude oil supply agreements, product storage facilities.
Key Partners	Local oil producers for crude oil supply, distributors for product sales, chemical suppliers, industry associations for networking and collaboration.
Idea Validation Steps	Analyze local market demand and competition, conduct feasibility studies on technical and economic aspects, gather feedback from potential users.
1st Year Cost of Operation	Estimated \$5 million, including equipment setup, operational expenses, crude oil procurement and marketing costs.
Potential Business Challenges	Obtaining necessary regulatory approvals and permits, securing reliable crude oil supply, maintaining competitive pricing, ensuring efficient operations and adherence to environmental and safety standards, managing market fluctuations in crude oil prices and demand for refined products.

شکل ۵. طرح توجیه فنی و اقتصادی ارائه شده توسط AiBusinessPlan

تولید ابزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی مولد برای ارتقای آموزش و پژوهش، اخیراً مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. به عنوان مثال، یک ابزار برای رسم و تکمیل خودکار نمودار جریان فرایند توسط (Vogel et al., 2023) توسعه داده شد. در تلاشی دیگر، ابزاری برای تولید و پیشنهاد خودکار ساختار کنترلی که یکی از مراحل مهم طراحی فرایند است، در (Hirtreiter et al., 2024) معرفی شد. البته این ابزارها جهت ارائه خروجی مطلوب، نیازمند یادگیری، تعریف دقیق مسئله و تحلیل خروجی، با تعداد بسیار زیادی داده مرتبط، مانند نمودارهای جریان فرایند و ساختارهای کنترلی موجود هستند. جدول ۲ فهرست Chatbot های کاربردی برای مهندسی شیمی را نشان می دهد. با یک جستجو در

اینترنت هم می‌توان ابزارهای متنوعی را شناسایی و برای کاربردهای مختلف از آنها استفاده کرد<sup>۱</sup>.

جدول ۲. Chatbot یا بسترهای منتخب قابل استفاده در مهندسی شیمی<sup>۲</sup>

نام بات/بستر	مزایا	معایب
Microsoft Copilot	رایگان، به‌روز، دسترسی به اینترنت، استفاده از مدل زبانی بزرگ OpenAI <sup>۳</sup>	پایه‌گذاری در Bing، استفاده به صورت پرسش و پاسخ متنی
ChatGPT	مهارت‌های نوشتاری، دانش علوم و مهندسی، گفتگومحور	عدم دسترسی به اینترنت، عدم دسترسی دائمی، نیاز به اشتراک پولی به GPT-4
Claude	رایگان، پشتیبانی از بارگذاری فایل‌ها، کنترل‌های گفتگو، حالت روشن و تاریک	عدم پیوستگی دانشی، سقف استفاده مبهم
Perplexity	دسترسی به اینترنت، پیوند به منابع، دارای رابط کاربری ساده، پیشنهاد سؤال <sup>۴</sup>	نیاز به اشتراک پولی به GPT-4، خروجی‌های اغلب غیرمرتبط
Jasper	دارای قالب نوشتاری، قابلیت ویرایش، چک کردن سرعت ادبی و گرامر، مناسب برای کارهای تجاری و بازرگانی	نیاز به اشتراک برای استفاده، هزینه بالا، نیاز به اشتراک پولی به GPT-4
YouChat	دسترسی رایگان و راحت، پیوند به منابع، دسترسی به گوگل	عدم پایداری در خروجی
Chatsonic	رایگان، مناسب برای مقاله‌نویسی، موارد استفاده متنوع، به‌روز	نیاز به ثبت نام، تأخیر در دادن جواب
Gemini	نسخه جدید Bard شرکت گوگل، مجانی، دسترسی به گوگل، مهارت خوب در ویرایش متون	عدم پیوند به منابع، ضعف در کدنویسی
HuggingChat	رایگان، تولید بات‌های جدید، رابطه گرافیکی کاربر خوب، قابل شخصی‌سازی	نیاز به مهارت متوسط و پیشرفته برای تولید بات، نیاز به ایجاد حساب کاربری
POE <sup>۵</sup>	رایگان برای تعداد استفاده محدود، حاوی بات‌های متنوع مثل (ChatGPT, Assistant, UniversityGPT, ChemistryAI, , ChemicalGPT, AIBusiness Plan, (DALL-E, etc برای ویرایش متون، جستجو در اینترنت، محاسبات ریاضی، کدنویسی، تولید تصویر، محاسبات امکان‌سنجی طرح، تولید فایل‌های PowerPoint از Word، تولید متن و هشتگ برای LinkedIn	نیاز به خرید اشتراک برای استفاده نامحدود

با وجود نکات مثبتی که هوش مصنوعی مولد دارد، نگرانی‌هایی نیز بین پژوهشگران ایجاد کرده است. در یک نظرسنجی جهانی توسط موسسه Nature با شرکت حدود ۱۶۰۰ نفر، پاسخ‌دهندگان نظر خود را در مورد عمده نکات مثبت و منفی هوش مصنوعی مولد بیان داشتند. داده‌های خروجی این

1- [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_chatbots](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_chatbots), accessed on Feb. 2024

2- <https://www.zdnet.com/article/best-ai-chatbot>, accessed on Feb. 2024

3- <https://openai.com>

4- Prompt

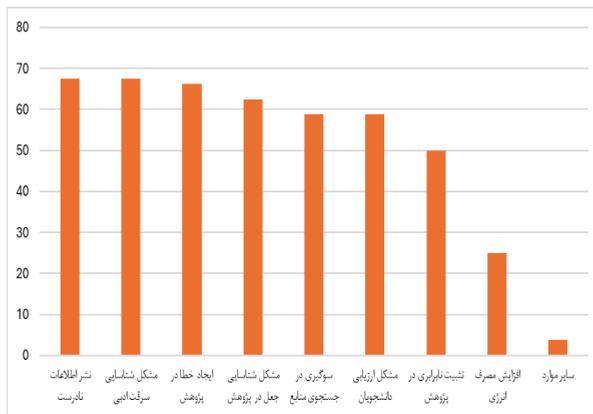
5- <https://poe.com/explore?category=Of->

نظرسنجی در شکل ۶ و شکل ۷ ارائه شده است (Van Noorden & Perkel, 2023).



شکل ۶. نظرسنجی در خصوص نکات مثبت هوش مصنوعی مولد (Van Noorden & Perkel, 2023)

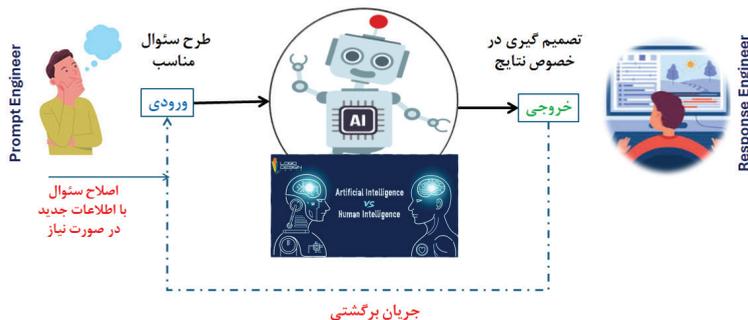
نتایج این نظرسنجی نشان می‌دهد که بیش از ۳۰ درصد پاسخ‌دهندگان معتقدند، این ابزار جهت خلاصه کردن سریع پژوهش و نیز افزایش سرعت کدنویسی مفید است. با این وجود، بیش از ۶۰ درصد پاسخ‌دهندگان، نگران نکات منفی آن در انتشار اطلاعات نادرست، تسهیل سرقت ادبی، و ایجاد خطا در کدنویسی و متون پژوهشی هستند. با توجه به سرعت پیشرفت هوش مصنوعی مولد، مراکز دانشگاهی باید این نگرانی‌ها را مورد توجه ویژه قرار دهند و برای کاهش اثرات منفی هوش مصنوعی مولد، راه‌کارهایی در نظر بگیرند.



شکل ۷. نظرسنجی در خصوص نکات منفی هوش مصنوعی مولد (Van Noorden & Perkel, 2023)

استفاده از ابزارهای دیجیتال مبتنی بر هوش مصنوعی مولد، به طور فزاینده‌ای رو به رشد است. بر اساس آمار موجود در وبگاه Statista، تعداد کاربران برنامه ChatGPT تنها در طول ۵ روز پس از معرفی

اولیه به یک میلیون نفر رسیده است.<sup>۱</sup> این در حالی است که برنامه‌های محبوبی چون نتفلیکس<sup>۲</sup> (۱۹۹۹)، فوراسکوئر<sup>۳</sup> (۲۰۰۹)، دراپ‌باکس<sup>۴</sup> (۲۰۰۸) و اینستاگرام<sup>۵</sup> (۲۰۱۰) برای جذب همین تعداد کاربر، به ترتیب حدوداً به ۱۳۰۰، ۴۰۰، ۲۱۰ و ۷۵ روز زمان در زمان ایجاد این شبکه‌ها نیاز داشتند. یک عامل اصلی در کندی نسبی رشد این شبکه‌های اجتماعی را باید سرعت و دسترسی به اینترنت و عدم رواج گوشی‌های هوشمند در آن زمان دانست. اما به نظر می‌رسد عامل اصلی در سرعت خیره‌کننده رشد برنامه ChatGPT، رشد سریع فناوری و آمادگی فرهنگی جوامع برای جذب سریع این برنامه که علتش قابلیت‌های منحصر به فرد آن است و در جدول ۲ به آنها اشاره شده است، می‌باشد. در حالی که تعداد کاربران فعال ماهانه ChatGPT در ژانویه ۲۰۲۳ به ۱۰۰ میلیون رسید، برابر گزارش یونسکو، تنها کشور چین مقررات مربوط به هوش مصنوعی مولد را در جولای ۲۰۲۳ منتشر کرده است (Miao et al., 2023). لذا سازمان‌های تنظیم‌گر باید اقدامات جدی درخصوص وضع ضوابط برای استفاده حرفه‌ای از ابزارهای هوش مصنوعی مولد به عمل آورند تا آثار منفی کاربرد این ابزارها (شکل ۷) به حداقل برسد. لازم به توضیح است که مسئولیت کامل تعریف اطلاعات ورودی و تحلیل نتایج خروجی از ابزارهای هوش مصنوعی، به عهده کاربر است. همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است، لازم است سؤال مناسب به عنوان ورودی طراحی و پس از وارد نمودن به موتور ابزار هوش مصنوعی، داده‌های خروجی با دقت و فهم مهندسی به طور دقیق تجزیه و تحلیل شود و در صورت نیاز با استفاده از نتایج خروجی، سوالات ورودی اصلاح گردد و این روند تا حصول نتیجه مطلوب ادامه یابد. در واقع این روش کار برای مهندسان شیمی که با شبیه‌سازی فرایند سروکار دارند، مفهومی آشنا است چون نتایج خروجی از یک شبیه‌ساز، کاملاً به صحت داده‌های ورودی ارتباط دارد. در صورت استفاده از داده‌های نامناسب مانند یک ابزار هوش مصنوعی، نتایج خروجی فاقد ارزش خواهد بود.



شکل ۸. تشابه فرایند استفاده از Chatbot با شبیه‌سازی فرایند

1- [miro.medium.com/v2/resize:fit:828/format:webp/1\\*itkm5QObY\\_roanSASrHilw.jpeg](https://miro.medium.com/v2/resize:fit:828/format:webp/1*itkm5QObY_roanSASrHilw.jpeg), accessed in Feb. 2024.

2- Netflix

3- Foursquare

4- Dropbox

5- Instagram

۲-۴. فواید استفاده از فناوری‌های دیجیتال در آموزش مهندسی شیمی

۲-۴-۱. تثبیت مفاهیم درسی در ذهن دانشجو

در روش‌های معمول تدریس، دانشجویان مفاهیم علمی را به صورت صرفاً تئوری در کلاس فرا می‌گیرند. چنانچه درس مورد نظر دارای جنبه‌های محاسباتی باشد، دانشجویان فرصت پیدا می‌کنند در انجام تکالیف یا پروژه درسی از ابزارهای دیجیتال مربوط، مانند نرم‌افزارهای محاسبات مهندسی یا شبیه‌سازی فرایند استفاده کنند. در این روش، تدریس تئوری به دانشجو و استفاده از ابزار دیجیتال توسط او به صورت ترتیبی و با فاصله زمانی بعضاً قابل توجه صورت می‌گیرد. این در حالی است که استفاده از فناوری‌های دیجیتال در کلاس و هم‌زمان با تدریس می‌تواند کمک شایانی به ارتقای آموزش و ملموس شدن مفاهیم برای دانشجویان کند. به عنوان مثال، در تدریس کنترل فرایند که اغلب دانشجویان به آن به عنوان درسی مشکل و ریاضیاتی می‌نگرند، با استفاده از نرم‌افزارهایی مانند سیمولینک و شبیه‌سازهای دینامیکی فرایند در کلاس می‌توان مفاهیم کنترلی را به صورت عملی به دانشجویان نشان داد و آنها را به این درس علاقه‌مندتر کرد. از طرفی در برخی دروس دیگر مانند نقشه‌کشی و نقشه‌خوانی فرایندی، ایمنی فرایند و عملیات واحد، دانشجویان برای درک بهتر مفاهیم نیاز به مشاهده و لمس تجهیز فیزیکی دارند که معمولاً تا زمانی که آزمایشگاه درس مربوط را در نیمسال‌های آینده اخذ نکنند، میسر نمی‌شود. لذا لازم است برای انتقال بهتر مفاهیم از ابزارهای تجسم سه بعدی و تعاملی در کلاس استفاده کرد. در این راستا، استفاده از فناوری‌هایی مانند واقعیت مجازی و افزوده می‌تواند بسیار مفید باشد.

۲-۴-۲. ارتقای آموزش و بهره‌وری در آزمایشگاه‌ها

در تدریس سنتی که صرفاً مطالب تئوری در کلاس آموزش داده می‌شود، دروس آزمایشگاهی بهترین فرصت را جهت مشاهده و لمس پدیده‌ها و تجهیزات مهندسی و تطبیق آنها با مفاهیم تئوری فراهم می‌کند. با رشد سریع فناوری‌های دیجیتال، استفاده از آنها به عنوان ابزار مکمل در آزمایشگاه‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

فناوری‌های دیجیتال از جهات زیر می‌توانند به افزایش کیفیت و بهره‌وری دروس آزمایشگاهی کمک کنند:

- در دروس آزمایشگاهی، دانشجویان معمولاً آزمایش‌ها را به صورت گروهی انجام می‌دهند. تجربه نشان داده است که غالباً همه اعضای گروه، در انجام آزمایش و گزارش نویسی مشارکت فعال ندارند و در نتیجه، بهره کافی را از دروس آزمایشگاهی نمی‌برند. به دلیل تک‌واحدی بودن و زمان محدود این دروس در کل نیمسال، زمان بر بودن آزمایش‌ها و هزینه بالای مواد و حلال‌های آزمایشگاهی، اغلب فرصت درگیر کردن همه دانشجویان توسط استاد درس وجود ندارد. اینجاست که با ابزارهای دیجیتال، مانند شبیه‌سازها

- و واقعیت مجازی یا افزوده می‌توان فرصت‌های جدیدی خلق کرد تا همه دانشجویان بتوانند حتی در خارج از ساعات آزمایشگاه، کار با تجهیزات را به صورت شبه‌عملی تجربه کنند.
- چنانچه به دلیل خرابی تجهیز یا عدم وجود مواد مورد نیاز، امکان انجام آزمایشی وجود نداشته باشد، با استفاده از فناوری‌هایی مانند شبیه‌سازی، واقعیت مجازی یا افزوده و دوقلوی دیجیتال، دانشجویان می‌توانند تجربه مشابهی را کسب کنند. از دیگر مزایای مهم این ابزارها، به ویژه واقعیت مجازی یا افزوده، امکان مشاهده نقشه و جزئیات داخلی تجهیزات و شبیه‌سازی اتفاقات درون آن است که معمولاً به دلیل استفاده از بدنه‌های فلزی در تجهیز واقعی قابل رؤیت نیست.
  - فناوری‌هایی که در بالا به آنها اشاره شد می‌توانند جایگزین آزمایش‌هایی باشند که به دلایلی مانند هزینه، پیچیدگی، زمان بر بودن، لزوم کار با مواد خطرناک یا شرایط عملیاتی نایم در طرح درس آزمایشگاه قرار نمی‌گیرند. در مرجع (Solmaz et al., 2021)، یک آزمایش مجازی با استفاده از شبیه‌سازی و واقعیت افزوده برای تولید صابون مایع معرفی شده است. با استفاده از این فناوری‌ها حتی می‌توان دروس آزمایشگاهی جدیدی مانند ایمنی مواد یا ایمنی فرایند ایجاد کرد.
  - در برخی شاخه‌های مرتبط با مهندسی شیمی، مانند زیست‌فناوری یا مهندسی داروسازی، ممکن است لازم باشد ایمنی و اثربخشی یک محصول روی حیوانات مورد آزمایش قرار گیرد. در بسیاری از کشورها این کار نیازمند دریافت مجوز است و قوانین سخت‌گیرانه‌ای برای اعطای آن وجود دارد. از جمله در ایران نیز اخیراً دستورالعملی در خصوص محدود کردن آزمایش روی حیوانات، مگر در موارد ضروری، از سوی وزارت بهداشت، درمان، و آموزش پزشکی صادر شده است.<sup>۱</sup> نکته جالب در این دستورالعمل، توصیه به جایگزینی حیوانات با نرم‌افزارهای مناسب است. در این راستا، خلق شبیه‌سازهای مناسب می‌تواند نقش مهمی در این مهم و رعایت اصول اخلاقی ایفا نماید.
  - استفاده از فناوری‌های دیجیتال در آزمایشگاه موجب کاهش هدررفت مواد، افزایش ایمنی و بهره‌وری می‌شود. این به کارشناسان آزمایشگاه اجازه می‌دهد، وقت بیشتری را صرف آموزش دانشجویان کنند و حتی بتوانند به مشتریان خارج از دانشگاه نیز خدمات ارائه دهند.

### ۳. ملزومات استفاده از فناوری‌های دیجیتال در آموزش

استفاده از فناوری‌های دیجیتال ملزوماتی دارد که به برخی از آنها فهرست‌وار اشاره می‌شود:

#### ۳-۱. روزآمدسازی کتاب‌های درسی با فناوری‌های دیجیتال

در جدول ۳، برخی ابزارهای دیجیتال تجاری و غیرتجاری قابل استفاده در دروس مهندسی شیمی

معرفی شده است. برخی از کتاب‌های شاخص مهندسی شیمی، همگام با پیشرفت در حوزه نرم‌افزارهای رایانه‌ای، در ویرایش‌های بعدی خود از معدودی از این ابزارها برای ارتقای آموزش استفاده کرده‌اند. اما با توجه به تنوع نرم‌افزارهای موجود و گستردگی دروس، به نظر می‌رسد که رشته مهندسی شیمی، همچنان با کمبود کتاب‌های علمی که از فناوری‌های دیجیتال به‌روز استفاده کنند، مواجه است. سرعت رشد فناوری‌های دیجیتال در صنعت ایجاب می‌کند که هر چه سریع‌تر در جهت رفع این کمبود که در مورد فناوری‌های دیجیتال پیشرفته و مبتنی بر هوش مصنوعی مشهودتر است، گام‌هایی برداشته شود.

جدول ۳. ابزارهای دیجیتال تجاری و غیرتجاری منتخب قابل استفاده برای برخی دروس اصلی مهندسی شیمی

دروس	ابزار دیجیتال تجاری	ابزار دیجیتال رایگان
موازنه جرم و انرژی	Excel, Aspen HYSYS, Aspen Plus	OpenOffice (Calc), LibreOffice, COCO DWSIM
محاسبات عددی	Excel, MATLAB, Polymath, Mathematica, Maple, O-Matrix	OpenOffice (Calc), LibreOffice, Python, Scilab, Octave
شبیه‌سازی فرایند	Aspen HYSYS, Unisim design, Aspen Plus, gPROMS	COCO, DWSIM, OpenModelica <sup>1</sup>
ایمنی فرایند	Phast	Chemical Reactivity Worksheet (CRW)
آمار و احتمالات	Minitab, Statistics	
کنترل فرایند	MATLAB, Simulink, LabVIEW, HYSYS, Unisim, Aspen, Control Station	Scilab/Xcos, DWSIM
نقشه‌خوانی و P&ID	AutoCAD, MS Visio, EdrawMax	EdrawMax (trial)
ترمودینامیک	HYSYS, Aspen Plus, HSPiP <sup>2</sup>	
طراحی فرایند	Aspen HYSYS, ASPEN	COCO, DWSIM
طراحی رآکتور	Excel, MATLAB, Polymath, Mathematica, Maple, HYSYS, Unisim, ASPEN	
بهینه‌سازی	MATLAB, GAMS, Excel	Octave, Scilab, NEOS Server, GAMS (demo)
پدیده‌های انتقال	Ansys Fluent, COMSOL	OpenFOAM, SimWorks
طرح و اقتصاد مهندسی	Aspen Process Economic Analyzer, CHEMCAD, SuperPro Designer, CostOS,	Cost estimator, Matches, Costing Spreadsheet, DWSIM

۲-۳. تدوین دروس جدید حاوی مبانی علمی فناوری‌های دیجیتال ایجاد دروس جدید که مبانی تئوری فناوری‌های روز دیجیتال را تبیین می‌کند می‌تواند به درک بهتر دانشجویان از این فناوری‌ها و استفاده آگاهانه از آنها کمک شایانی کند. در سال‌های اخیر استفاده

1- <https://openmodelica.org>

2- Hansen solubility parameters in practice

دانشجویان از ابزارهای هوش مصنوعی، به دلیل محبوبیت و سهولت استفاده از آن در بسترهایی مانند متلب و پایتون، رشد قابل توجهی داشته است. اما به دلیل عدم آموزش مبانی علمی این ابزارها در برنامه مهندسی شیمی، در بسیاری موارد دیده می‌شود که این ابزارها، در جای درست خود مورد استفاده قرار نمی‌گیرند و نتایج به دست آمده نیز به نحو علمی تحلیل نمی‌شود و یا اصولاً فاقد اعتبار علمی است. این مشکل، ضرورت گنجاندن دروس جدیدی مانند آمار و احتمالات، علوم داده (Lavasani et al., 2021)، بهینه‌سازی و هوش مصنوعی را در برنامه تحصیلات تکمیلی مهندسی شیمی دوچندان می‌کند.

### ۳-۳. روزآمدسازی اساتید و کارشناسان

استفاده مؤثر از ابزارهای دیجیتال در تدریس، نیازمند آشنایی کافی اساتید و کارکنان مراکز آموزشی با مبانی و چگونگی استفاده از آنها است. برای تسهیل این امر می‌توان از دانشجویان یا دانش‌آموختگان مسلط به این ابزارها، به عنوان تدریس‌یار استفاده کرد. همچنین می‌توان دوره‌های فشرده حضوری، ضبط شده یا غیرحضوری برای مدرسان برگزار کرد.

### ۳-۴. طراحی فضاهای آموزشی و کلاس، مطابق با نیازهای آموزش دیجیتال

استفاده از فناوری‌های دیجیتال، نیازمند زیرساخت‌های مناسب سخت‌افزاری در فضاهای آموزشی است. تجهیز کلاس‌ها به اینترنت، نیمکت‌هایی که بتوان روی آنها لپ‌تاپ قرار داد و دارای کابل‌کشی برق باشند و تخته‌های هوشمند تعاملی، از جمله حداقل‌های مورد نیاز است.

## ۴. چالش‌های توسعه و استفاده از فناوری‌های دیجیتال آموزشی

کاربرد فناوری‌های دیجیتال، با وجود مزایای ذکر شده با چالش‌هایی همراه است. از منظر توسعه، هزینه بالای ساخت و روزآمدسازی و نیز نیاز به تخصص‌های متنوع سخت‌افزاری و نرم‌افزاری که خارج از حیطه مهندس شیمی است را می‌توان برشمرد. لذا برای توسعه ابزارهای دیجیتال لازم است گروه‌هایی متشکل از مهندسان شیمی و متخصصان رایانه، برق و برخی زمینه‌های بین‌رشته‌ای ایجاد شوند. از منظر استفاده نیز، چالش‌های برای دانشجویان و اساتید وجود دارد که در زیر فهرست‌وار به آن پرداخته می‌شود:

- عدم توجه کافی به تئوری‌های پایه: تدریس از طریق فناوری‌های دیجیتال، اگر به صورت نابه‌جا صورت گیرد می‌تواند به تدریس اصولی مفاهیم پایه مهندسی لطمه بزند و دانشجویان را از فهم عقبه تئوری موضوع باز دارد. بنابراین تدریس مناسب اصول و مفاهیم اصلی، همچنان باید مورد توجه مدرسان قرار گیرد (Feise & Schaer, 2021).

- عدم یادگیری روش های حل و ناتوانی در تفسیر نتایج: استفاده نابه جا از برخی ابزارهای نرم افزاری می تواند فرصت یادگیری روش حل را از دانشجو بگیرد و موجب اعتماد بیش از حد او به نتایج نرم افزار، بدون تحلیل مناسب ورودی و خروجی آن شود.
- عدم دسترسی آسان به برخی ابزارهای دیجیتال: فناوری های پیشرفته دیجیتال مانند واقعیت مجازی و افزوده، هنوز در آموزش مهندسی شیمی در دسترس همگانی قرار نگرفته اند یا اصولاً توسعه داده نشده اند. حتی در استفاده از ابزارهای متداول نیز می توان چالش هایی مانند نیاز به خرید مجوز، حجم بالای نرم افزار و نیاز به رایانه هایی با توان محاسباتی و ذخیره سازی بالا را برشمرد.
- بار اضافی کاری برای دانشجویان و اساتید: نیاز به گذراندن دوره های آموزشی برای اساتید و دانشجویان و نیز صرف بخش قابل توجهی از زمان کلاس، از چالش های استفاده از فناوری های دیجیتال است. بازنگری و تعدیل محتوای دروس می تواند در رفع این چالش مؤثر باشد.
- کپی کاری و استفاده از ابزارهای هوش مصنوعی مولد در حل تمرین ها: قابلیت هوش مصنوعی مولد در پاسخ به سوالات علمی و کدنویسی می تواند در جهت منفی برای حل تکالیف دانشجویی مورد استفاده قرار بگیرد. استفاده نابه جا از هوش مصنوعی مولد می تواند سرقت ادبی تلقی شود و ضمن زیر سؤال بردن یادگیری دانشجو، نمره دهی عادلانه را مشکل کند. در شکل ۹ یک نمونه کد نرم افزار OpenModelica برای شبیه سازی دینامیکی یک رآکتور هم زده آورده شده است که خروجی سؤال کاربر از نرم افزار ChatGPT ۳.۵ است. صحت کد مذکور در OpenModelica آزمایش و تأیید شد.

```
You
write Openmodelica code for a CSTR with first order reaction, volume of 2 m3, and
initial concentration of 3 mol/m3

ChatGPT
Here's an OpenModelica code for simulating a Continuous Stirred-Tank Reactor
(CSTR) with a first-order reaction, a volume of 2 m^3, and an initial concentration of 3
mol/m^3:

model CSTR_FirstOrderReaction
// Parameters
parameter Real V = 2.0 "Volume (m^3)";
parameter Real k = 0.1 "Rate constant (1/min)";
parameter Real Ci = 3.0 "Initial concentration (mol/m^3)";

// Variables
Real C "Concentration (mol/m^3)";
Real Q "Flow rate (m^3/min)";

equation
// Reaction rate equation
der(C) = Q/V * (Ci - C) - k * C;

// Flow rate equation (input)
Q = 1.0;

initial equation
C = Ci;

end CSTR_FirstOrderReaction;
```

شکل ۹. کد نرم افزار OpenModelica تولید شده با ChatGPT 3.5.

نکاتی که در بالا به آنها اشاره شد، عمدتاً به آموزش مهندسی مرتبط است. در حوزه‌های پژوهشی و صنعتی، از آنجا که ابزارهای هوش مصنوعی نمی‌توانند در کتاب‌ها، مقالات، گزارش‌های علمی، یا طراحی‌های مهندسی به عنوان نویسنده یا طراح قلمداد شوند، معمولاً توصیه می‌شود در مواردی که چنین ابزارهایی به عنوان بخشی از طراحی یا روش‌شناسی یک مطالعه تحقیقاتی یا طراحی فرایند استفاده می‌شود، استفاده از آنها به طور شفاف در بخش‌های قدردانی مدارک علمی توضیح داده شود.

### ۵. نتیجه‌گیری

مطالعات انجام‌شده در این مقاله نشان می‌دهد که تأثیر فناوری‌های دیجیتال بر آموزش مهندسی شیمی بسیار مهم است و می‌تواند به بهبود و توسعه مهارت‌های حرفه‌ای دانشجویان کمک کند. استفاده از فناوری‌های دیجیتال، از جمله صفحه‌های گسترده، نرم‌افزارهای ریاضی، شبیه‌سازهای صنعتی، واقعیت مجازی و افزوده و ابزارهای هوش مصنوعی، آموزش مهندسی شیمی را به محیط‌های تعاملی و مدرن تبدیل کرده است. این ابزارها باعث بهبود انتقال مفاهیم، تسهیل در تجزیه و تحلیل مسائل، ایجاد تجربه‌های عملی مجازی و افزایش تعامل دانشجویان با مفاهیم شده است. در واقع، استفاده بهینه از فناوری‌های دیجیتال در آموزش مهندسی شیمی می‌تواند به دانشجویان امکان پیشرفت و بهبود مهارت‌های فنی و حرفه‌ای را بدهد و همچنین به اساتید و محققان در این حوزه کمک کند تا ابزارهای پیشرفته‌تری را ایجاد کنند و تجربه آموزشی را بهبود بخشند. با این حال، استفاده از فناوری‌های دیجیتال، چالش‌هایی را نیز به همراه دارد. از جمله آنها می‌توان به نیاز به زیرساخت‌های مناسب، آموزش اساتید و روش مناسب ارزیابی عملکرد دانشجویان اشاره کرد. با توجه به اهمیت و سرعت فراگیری فناوری‌های دیجیتال، لازم است دانشگاه‌های کشور در جهت یافتن راهکار رفع این چالش‌ها و استفاده رویه‌مند از فناوری‌های دیجیتال در آموزش گام بردارند.

### تقدیر و تشکر

از جناب آقای دکتر سلطانی، ریاست محترم شاخه مهندسی شیمی فرهنگستان علوم و اعضای محترم شاخه که فرصت ارائه این مقاله را برای نویسندگان فراهم کردند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

### References

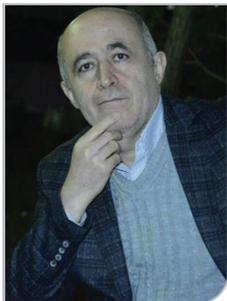
- Adams II, T. A. (2022). *Learn aspen plus in 24 hours* (2nd ed.). McGraw Hill.
- Bell, J. T., & Fogler, H. S. (1996). The status and prospects of virtual reality in chemical engineering. *AICHE National Meeting, November*, 1-10.
- Cazzaniga, M., Jaumotte, F., Li, L., Melina, G., Panton, A. J., Pizzinelli, C., Rockall, E., & Tavares, M. M. (2024). Gen-AI: artificial intelligence and the future of work. International Monetary Fund.

- Coker, A. K. (2007). Ludwig's applied process design for chemical and petrochemical plants, Volumes I-III (4th ed.). Gulf Professional Publishing Co.
- Downs, J. J., & Vogel, E. F. (1993). A plant-wide industrial process control problem. *Computers and Chemical Engineering*, 17(3), 245-255. [https://doi.org/10.1016/0098-1354\(93\)80018](https://doi.org/10.1016/0098-1354(93)80018).
- Feise, H. J., & Schaer, E. (2021). Mastering digitized chemical engineering. *Education for Chemical Engineers*, 34, 78-86. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2020.11.011>.
- Fogler, H. S. (2021). *Elements of chemical reaction engineering*. Pearson.
- Gunawan, P., Kwan, J., Cai, Y., & Yang, R. (2021). Augmented reality application for chemical engineering unit operations. In Y. Cai, W. van Joolingen, & K. Veermans (Eds.), *Virtual and Augmented Reality, Simulation and Serious Games for Education* (pp. 29-43). Springer, Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-1361-6-4>.
- Guo, Y., Klink, A., Bartolo, P., & Guo, W. G. (2023). Digital twins for electro-physical, chemical, and photonic processes. *CIRP Annals*, 72(2), 593-619. <https://doi.org/10.1016/J.CIRP.2023.05.007>.
- Hirtreiter, E., Schulze Balhorn, L., & Schweidtmann, A. M. (2024). Toward automatic generation of control structures for process flow diagrams with large language models. *AIChE Journal*, 70(1), 1-15. <https://doi.org/10.1002/aic.18259>.
- Coker, A., & Sotudeh-Gharebagh, R. (2022). Chemical process engineering, Volume 2: Design, Analysis, Simulation, Integration, and Problem Solving with Microsoft Excel-UniSim Software for Chemical Engineers, Heat Transfer and Integration, Process Safety, and Chemical Kinetics (1st ed., Vol. 2). WILEY.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2021.05.002>.
- Lavasani, M., Ziaei-Halimejani, H., Sotudeh gharebagh, R., Zarghami, R., & Mostoufi, N. (2021). Application of data science in chemical engineering education [in Persian]. *Iranian Journal of Engineering Education*, 1-25. <https://doi.org/10.22047/IJEE.2021.239468.1759>.
- Little, A. D. (2023). Digital technologies for sustainability in the european chemical industry. [https://cefic.org/app/uploads/2023/04/ADL\\_CEFIC\\_Digital\\_technologies\\_for\\_sustainability\\_2023.pdf](https://cefic.org/app/uploads/2023/04/ADL_CEFIC_Digital_technologies_for_sustainability_2023.pdf).
- Low, D. Y. S., Poh, P. E., & Tang, S. Y. (2022). Assessing the impact of augmented reality application on students' learning motivation in chemical engineering. *Education for Chemical Engineers*, 39, 31-43. <https://doi.org/10.1016/J.ECE.2022.02.004>.
- Ludwig, E. E. (2001). *Applied process design for chemical and petrochemical plant*, Volumes I-III. Gulf Professional Publishing.
- Norton, C., Cameron, I., Crosthwaite, C., Balliu, N., Tade, M., Shallcross, D., Hoadley, A., Barton, G., & Kavanagh, J. (2008). Development and deployment of an immersive learning environment for enhancing process systems engineering concepts. *Education for Chemical Engineers*, 3(2), 75-83. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2008.04.001>.
- Pirola, C., Peretti, C., & Galli, F. (2020). Immersive virtual crude distillation unit learning experience: The EYE4EDU project. *Computers and Chemical Engineering*, 140, 106973. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.106973>.
- Seborg, D. E., Edgar, T. F., Mellichamp, D. A., & Doyle III, F. J. (2017). *Process dynamics and control* (4th ed.). Wiley.
- Solmaz, S., Dominguez Alfaro, J. L., Santos, P., Van Puyvelde, P., & Van Gerven, T. (2021). A practical development of engineering simulation-assisted educational AR environments. *Education for Chemical Engineers*, 35, 81-93. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2021.01.007>.
- Sotudeh-Gharebagh R. and E. Jabbari. (2021). *Computer-Aided Process Simulation in Chemical Engineering*. University of Tehran Press [in Persian].
- Sotudeh-Gharebagh, R., & Zia-Zarifi, M. (2005). Computer aides process simulation for chemical engineers and necessity of its inclusion in b. s. program [in Persian]. *Iranian Journal of Engineering Education*, 5(25), 27-44.

- Teles dos Santos, M., Vianna, A. S., & Le Roux, G. A. C. (2018). Programming skills in the industry 4.0: are chemical engineering students able to face new problems? *Education for Chemical Engineers*, 22, 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2018.01.002>.
- Udugama, I. A., Atkins, M., Bayer, C., Carson, J., Dikicioglu, D., Gernaey, K. V., Glassey, J., Taylor, M., & Young, B. R. (2023). Digital tools in chemical engineering education: the needs and the desires. *Education for Chemical Engineers*, 44, 63–70. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2023.05.002>.
- Udugama, I. A., Bayer, C., Baroutian, S., Gernaey, K. V., Yu, W., & Young, B. R. (2022). Digitalisation in chemical engineering: industrial needs, academic best practice, and curriculum limitations. *Education for Chemical Engineers*, 39, 94–107. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2022.03.003>.
- Miao, F., & Holmes, W. (2023). Guidance for generative AI in education and research. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693>.
- Van Noorden, R., & Perkel, J. M. (2023). AI and science: what 1,600 researchers think. *News Nature*, 621, 672–675. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/d41586-023-02980-0>.
- Vogel, G., Schulze Balhorn, L., & Schweidtmann, A. M. (2023). Learning from flowsheets: A generative transformer model for autocompletion of flowsheets. *Computers and Chemical Engineering*, 171, 108162. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2023.108162>.



◀ **علی محمد سهل‌الدین:** استادیار دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر است. او کارشناسی مهندسی شیمی را در سال ۱۳۸۴ از دانشگاه تهران، کارشناسی ارشد این رشته (شبیه‌سازی و کنترل فرایند) را در سال ۱۳۸۶ از دانشگاه صنعتی شریف و دکتری مهندسی شیمی (بهینه‌سازی فرایند) را در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه مک‌مستر کانادا دریافت کرد. زمینه‌های پژوهشی دکتر سهل‌الدین، شبیه‌سازی، بهینه‌سازی، کنترل فرایند، انتگراسیون فرایند و کاربرد آن در کاهش اثرات زیست‌محیطی، بهینه‌سازی آب و انرژی است.



◀ **رحمت ستوده قره‌باغ:** مدرک دکتری خود در مهندسی شیمی را از دانشگاه پلی‌تکنیک مونترال کانادا اخذ کرده‌اند. ایشان از سال ۱۳۷۸ فعالیت خود را به عنوان عضو هیئت علمی در دانشگاه تهران آغاز کرده‌اند و هم‌اکنون نیز به عنوان استاد در دانشکده فنی مشغول فعالیت هستند، ایشان در زمینه مهندسی فرایند، کاربرد هوش مصنوعی در مهندسی شیمی و آموزش مهندسی مشغول به کار آموزشی و پژوهشی هستند.