

Identifying and Prioritizing Industry 4.0 Technologies that Impact the Quality of Education

Seyed Mahmood Zanjirchi 

Professor, Department of Management Science, Yazd University, Yazd. Iran. E-mail: zanjirchi@yazd.ac.ir
<http://orcid.org/0000-0002-7540-235X>

Hajar Soleymanizadeh 

The student of PhD, Field of Industrial Management (Production and Operations), Department of Management Science, Yazd University, Yazd. Iran. E-mail: soleymanizadeh1371@stu.yazd.ac.ir
<https://orcid.org/0009-0002-6742-7060>

Mehran Ziaecian* 

Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Management, Faculty of Management and Innovation, Shahid Ashrafi Esfahani University, Isfahan, Iran. E-mail: m.ziaecian@ashrafi.ac.ir
<https://orcid.org/0000-0003-4609-2038>

ABSTRACT

Industry 4.0, as the fourth industrial revolution, has brought about a profound transformation in production methods and process management. Industry 4.0 refers to establishing connections between the physical and digital worlds, decentralizing business processes, and making product production and service delivery processes smarter and more efficient, using advanced technologies such as the Internet of Things, blockchain, and cyber-physical systems. The purpose of this research is to identify and prioritize Industry 4.0 technologies that affect the quality of education. In the present study, initially, 8 criteria for selecting Industry 4.0 technologies were identified based on a literature review, including cost-effectiveness, relevance to educational needs, ease of use and learning, compatibility, security, commitment to quality, relevance to organizational culture, and sustainability and upgradeability. Subsequently, the fuzzy Delphi approach was used to confirm or reject the eight identified criteria. In addition to confirming the eight criteria mentioned, two criteria of energy consumption and carbon emissions and compliance with ethical and legal considerations were added to the eight criteria identified by the experts. The experts in this study were teachers and university professors in Isfahan, 27 of whom were selected using the snowball sampling method. The results of this study showed that cloud computing technology, the Internet of Things, and artificial intelligence and machine learning are the top three technologies among Industry 4.0 technologies that affect the quality of education.

Keywords: education quality, industry 4.0 technologies, cloud computing, artificial intelligence, internet of things

Cite this Article: Zanjirchi, S. M., Soleymanizadeh, H., & Ziaecian, M (2025). Identifying and Prioritizing Industry 4.0 Technologies that Impact the Quality of Education. *Technology of Instruction and Learning*. 9(31), 7-48
doi: <https://doi.org/10.22054/jti.2025.83864.1541>



Extended Abstract

Introduction

Over the years, education has always been introduced as a determining factor in the success and progress of societies. Despite significant progress in the field of education, there are numerous challenges in the field of quality of education in the country. One of the most important challenges in the quality of education is the differences between urban and rural areas and inequality in access to educational content. Other fundamental challenges in the quality of education include the lack of understanding among students about the applicability of the educational content provided, the lack of up-to-date educational content, the low quality of some professors and teachers, inadequate educational infrastructure, lack of access to technology for all students in the country, and the lack of an appropriate evaluation and feedback system for the quality of education provided. The use of Industry 4.0 technologies such as artificial intelligence, virtual reality, and the Internet of Things can provide innovative solutions to improve the quality of education.

Due to various limitations, including financial resources, the necessary skills to use technologies, the required technological infrastructure, compatibility with existing systems, etc., it is not possible to use all Industry 4.0 technologies that affect the quality of education. The aim of the present study is to identify Industry 4.0 technologies that affect the quality of education and prioritize them based on various criteria.

Literature Review

Industry 4.0 is more than just a revolutionary trend in education and improving its quality. Universities and educational institutions around the world are trying to implement these advanced technologies in their educational systems. This transformation connects the virtual and real worlds of education and allows for the collection and exchange of data in real time between educational processes.

Methodology

The present study is applied in terms of purpose because the results of this study can be used in universities, schools and higher institutions of the country. Also, the present study is descriptive-causal in terms of nature and method and survey in terms of data collection. The statistical population of the study was school teachers and university professors in Isfahan, 27 of whom were selected as samples using the snowball sampling method. In this study, first, the Industry 4.0 technologies affecting the quality of education and their selection criteria were identified based on a literature review and research background. Then, using the fuzzy Delphi approach, the selection criteria for Industry 4.0 technologies obtained from the research literature were localized. Then, using the fuzzy Swara approach, the criteria were weighted, and finally, using the fuzzy CoCoSo approach, the Industry 4.0 technologies affecting the quality of education were ranked.

Conclusion

First, by reviewing the literature and research background, 8 criteria of cost-effectiveness, suitability with educational needs, ease of use and learning, compatibility, security, commitment to quality, suitability with organizational culture, sustainability, and upgradeability were identified as criteria related to the selection of Industry 4.0 technologies to improve the quality of education. Then, by using a survey of selected experts, the eight identified criteria were approved based on the fuzzy Delphi approach. In addition, considering the authors' request to add a criterion to the identified criteria, if necessary, two criteria of energy consumption and carbon emissions and compliance with ethical and legal considerations were added to the eight identified criteria and approved in the second round of the fuzzy Delphi approach. Then, using the fuzzy Swara approach, the importance of the ten identified criteria was determined. The results of the study showed that the criterion of cost-effectiveness has the highest level of importance among the ten identified criteria related to the selection of Industry 4.0 technologies. Finally, based on the fuzzy Cocos approach, Industry 4.0 technologies affecting the quality of education were prioritized according to the weighting of the identified criteria. The results of this section showed

that cloud computing technology is in the first place. In other words, considering criteria such as cost-effectiveness, suitability with educational needs and other identified criteria, cloud computing technology can be used as the first Industry 4.0 technology in the education sector. Cloud computing technology provides easy and fast access to computing resources and cloud-based storage, allowing students and teachers to have wide access to educational content, educational tools and learning opportunities.

شناسایی و اولویت‌بندی فناوری‌های صنعت ۴.۰ اثرگذار بر کیفیت آموزش

سید محمود زنجیرچی

استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد- مدیریت و حسابداری،
دانشگاه یزد، یزد، ایران. رایانامه: zanjirchi@yazd.ac.ir

هاجر سلیمانی‌زاده

دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد- مدیریت و
حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران. رایانامه:
soleymanizadeh1371@stu.yazd.ac.ir

مهران ضیائی‌ان*

نویسنده مسئول، استادیار، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و
نوآوری، دانشگاه شهید اشرفی اصفهانی، اصفهان، ایران. رایانامه:
m.ziaecian@ashrafi.ac.ir

چکیده

صنعت ۴.۰ به عنوان انقلاب صنعتی چهارم، تحولی عمیق در روش‌های تولید و مدیریت فرآیندها ایجاد کرده است. صنعت ۴.۰ به برقراری ارتباط میان دنیای فیزیکی و دیجیتال، تمرکززدایی فرآیندهای کسب و کار، هوشمندسازی و بهینه‌سازی فرآیندهای تولید محصول و ارائه خدمات، با استفاده از فناوری‌های پیشرفته‌ای از جمله اینترنت اشیاء، بلاک‌چین و سیستم‌های سایبر- فیزیکی اشاره دارد. هدف از انجام این پژوهش شناسایی و اولویت‌بندی فناوری‌های صنعت ۴.۰ اثرگذار بر کیفیت آموزش است. در پژوهش حاضر ابتدا ۸ معیار انتخاب فناوری‌های صنعت ۴.۰ شامل مقرون به صرفه بودن، تناسب با نیازهای آموزشی، سهولت استفاده و یادگیری، سازگاری، امنیت، تعهد به کیفیت، تناسب با فرهنگ سازمانی و پایداری و قابلیت ارتقاء بر اساس مرور ادبیات شناسایی شدند. در ادامه از رویکرد دلفی فازی به منظور تأیید یا رد هشت معیار شناسایی شده، استفاده گردید. علاوه بر تأیید هشت معیار نام برده شده، دو معیار مصرف انرژی و انتشار کربن و انطباق با ملاحظات اخلاقی و قانونی به هشت معیار شناسایی شده توسط خبرگان اضافه شد. خبرگان این پژوهش معلمان و اساتید دانشگاهی اصفهان بوده که با استفاده از روش نمونه‌گیری گلوله برفی تعداد ۲۷ نفر انتخاب شدند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که فناوری محاسبات ابری، اینترنت اشیاء و هوش مصنوعی و یادگیری ماشین به عنوان سه فناوری برتر در میان فناوری‌های صنعت ۴.۰ بر کیفیت آموزش اثرگذار هستند.

کلیدواژه‌ها: کیفیت آموزش، فناوری‌های صنعت ۴.۰، محاسبات ابری، هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء

استناد به این مقاله: زنجیرچی، سید محمود، سلیمانی‌زاده، هاجر، ضیائی‌ان، مهران. (۱۴۰۴). شناسایی و اولویت‌بندی فناوری‌های صنعت ۴.۰ اثرگذار بر کیفیت آموزش. فناوری‌های آموزشی در یادگیری، ۹ (۳۱)، ۷-۴۸.
doi: <https://doi.org/10.22054/jti.2025.83864.1541>

مقدمه

در طی سالیان گذشته، آموزش همواره به عنوان عامل تعیین کننده در موفقیت و پیشرفت جوامع معرفی شده است (Russo-Netzer, 2023). آموزش نه تنها افراد را در دستیابی به اهداف فردی و شغلی خود کمک می کند، بلکه به افراد چگونگی تحلیل اطلاعات و کسب مهارت های لازم در مواجهه با مشکلات مختلف را می آموزد (Komalasari, Arafat, & Mulyadi, 2020; Rahmatullah, Mulyasa, Syahrani, Pongpalilu, & Putri, 2022). این مهارت ها برای موفقیت در هر زمینه ای از زندگی، از جمله تحصیل، کار و روابط اجتماعی ضروری است. هدف از آموزش، ارتقاء سطح علمی افراد، توسعه سطح فرهنگی جامعه، ارائه راهکارهای مناسب به منظور مواجهه با مشکلات و بحران های مختلف، افزایش رفاه، بهبود کیفیت زندگی افراد و کاهش تفاوت های اجتماعی و اقتصادی است (سالاری چینه و قانع ملاطی، ۱۴۰۳)؛ بنابراین کیفیت آموزش نقش تعیین کننده ای در دستیابی به اهداف آموزشی تعیین شده در هر جامعه ای دارد.

کیفیت آموزش به اثربخشی فرآیند آموزشی شامل ارائه محتوای معتبر و متناسب، استفاده از روش های آموزشی مناسب، ارزیابی شفاف و منظم، حضور اساتید با تجربه و توانمند، فراهم کردن امکانات و تجهیزات لازم، ارائه خدمات پشتیبانی به دانشجویان و ایجاد محیط آموزشی محافظت شده و انگیزشی اشاره دارد (Budiharso & Tarman, 2020). با وجود پیشرفت های چشمگیر در حوزه آموزش، چالش های متعددی در حوزه کیفیت آموزش در کشور وجود دارد. یکی از مهم ترین چالش ها در کیفیت آموزش، تفاوت های بین مناطق شهری و روستایی و نابرابری در دسترسی به محتوای آموزشی ارائه شده است. از دیگر چالش های اساسی در کیفیت آموزش می توان به عدم درک دانش آموزان و دانشجویان نسبت به کاربردی بودن محتوای آموزشی ارائه شده، به روز نبودن محتوای آموزشی، کیفیت پایین برخی از اساتید و معلمان، زیرساخت های آموزشی نامناسب، عدم دسترسی به فناوری برای تمامی دانش آموزان و دانشجویان در کشور و عدم سیستم ارزیابی و بازخورد مناسب نسبت به کیفیت آموزش ارائه شده اشاره کرد. عدم توجه به چالش های ذکر شده

پیامدهایی از جمله کاهش انگیزه یادگیری دانش‌آموزان و دانشجویان، کاهش سطح سواد در جامعه، کاهش نرخ اشتغال و افزایش بیکاری، افزایش نابرابری اجتماعی، اختلال در انجام فرآیندها و خدمات نیازمند به تخصص بالا، کاهش سطح کیفیت زندگی افراد و در نهایت عقب‌ماندگی در توسعه کشور را به همراه دارد. حل این چالش‌ها نیازمند توجه به ارتقاء سیاست‌های آموزشی، توسعه فناوری‌های آموزشی، افزایش همکاری میان مراکز آموزشی و صنعت و جامعه، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های آموزشی و ارتقاء کیفیت محتوا است (Tomy & Pardede, 2020).

با پیشرفت‌های چشمگیر در فناوری اطلاعات و ارتباطات در دهه گذشته، صنعت ۴.۰ برای اولین بار در نوامبر ۲۰۱۱ توسط دولت آلمان در نمایشگاه تجاری هانوفر معرفی شد (Talaie, Ziaieian, & Malekinejad, 2022). صنعت ۴.۰ به چهارمین انقلاب صنعتی اشاره دارد که با خودکارسازی و ارتباطات هوشمند در فرآیندهای تولید و خدمات از طریق فناوری‌هایی همچون اینترنت اشیاء، هوش مصنوعی، سیستم سایبر- فیزیکی و محاسبات ابری به یکپارچه‌سازی و ساده‌سازی فرآیندها، به اشتراک‌گذاری بهتر داده‌ها و اطلاعات، نوآوری در فرآیندها، انعطاف‌پذیری، تحلیل و گزارش‌دهی دقیق داده‌ها، افزایش بهره‌وری و سودآوری کمک می‌کند (Morovati Sharifabadi, Ziaieian, Mirfakhradini, & Zanjirchi, 2024). عصر صنعت ۴.۰ با هدف نوسازی تمام ارکان جامعه به ویژه در زمینه کیفیت آموزش، فرا رسیده است (حیدری و همکاران، ۱۴۰۲). در این دوران، ابزارهای سنتی یادگیری مانند کاغذ، خودکار و تخته سیاه به تدریج جای خود را به روش‌های نوین آموزشی می‌دهند. این امر نشان‌دهنده آغاز دوران صنعتی ۴.۰ است (Qureshi, Khan, Raza, Imran, & Ismail, 2021). استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰ مانند هوش مصنوعی^۱، واقعیت مجازی و اینترنت اشیا^۲ می‌تواند راه‌حل‌های نوآورانه‌ای برای ارتقاء سطح کیفی آموزش ارائه دهند (Moraes et al., 2023). به عنوان مثال با استفاده از فناوری واقعیت مجازی^۳ و ایجاد محیط‌های یادگیری فراگیر و جذاب، می‌توان

¹ Artificial Intelligence

² Internet of Things

³ Virtual Reality

دانش آموزان را درگیر مفاهیم انتزاعی یا خطرناک کرده و انگیزه آن‌ها را برای یادگیری افزایش داد. از سویی دیگر معلمان و اساتید دانشگاهی اغلب به داده‌های کافی در مورد عملکرد و پیشرفت دانش آموزان خود دسترسی ندارند که این امر تصمیم‌گیری در مورد نحوه ارائه پشتیبانی و مداخله را دشوار می‌کند (Al-Ansi, Jaboob, Garad, & Al-Ansi, 2023). علاوه بر این، اینترنت اشیاء داده‌های مربوط به رفتار و عملکرد دانش آموزان در کلاس درس را جمع‌آوری کرده و به معلمان و اساتید دانشگاهی اطلاعات مورد نیاز برای ارائه آموزش‌های هدفمند و شخصی را ارائه دهد (Kassab, DeFranco, & Laplante, 2020).

بر اساس مرور مطالعات صورت گرفته، پژوهش‌های متعددی در حوزه صنعت ۴.۰ و آموزش توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در اکثر پژوهش‌ها به نقش توانمندسازها و عوامل حیاتی موثر بر بکارگیری صنعت ۴.۰ در کیفیت آموزش اشاره شده است. از سویی دیگر با وجود پتانسیل‌های چشمگیر فناوری‌های صنعت ۴.۰، اتخاذ یک رویکرد گام به گام برای پیاده‌سازی این فناوری‌ها در نظام آموزشی ضروری است. به عبارتی دیگر با توجه به محدودیت‌های مختلفی از جمله منابع مالی، مهارت‌های لازم در جهت استفاده از فناوری‌ها، زیرساخت‌های فناوری مورد نیاز، سازگاری با سیستم‌های موجود و ... امکان استفاده از تمامی فناوری‌های صنعت ۴.۰ اثرگذار بر کیفیت آموزش وجود ندارد. با توجه به کمبود مطالعات صورت گرفته در حوزه کاربرد فناوری‌های صنعت ۴.۰ در کیفیت آموزش و وجود شکاف پژوهشی در اولویت‌بندی فناوری‌های صنعت ۴.۰ مورد نیاز در حوزه آموزش، هدف پژوهش حاضر شناسایی فناوری‌های صنعت ۴.۰ اثرگذار بر کیفیت آموزش و اولویت‌بندی آن‌ها بر اساس معیارهای مختلف است.

پیشینه پژوهش

صنعت ۴.۰ فراتر از یک روند تحول‌آفرین در آموزش و ارتقاء کیفیت آن است. دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی در سراسر دنیا در حال تلاش برای بکارگیری این فناوری‌های پیشرفته در سیستم‌های آموزشی خود هستند. این دگرگونی، دنیای مجازی و واقعی آموزش را به

هم پیوند داده و امکان جمع‌آوری و تبادل داده‌ها در لحظه میان فرآیندهای آموزشی را فراهم می‌کند (Sharma, 2019).

بامری و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی شایستگی‌های دانشجویان مهندسی و الزامات دانشگاه‌ها و مراکز آموزش عالی برای انطباق با صنعت ۴.۰ را مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های پژوهش نشان داد که شایستگی‌ها و الزامات در ابعاد شایستگی‌های دانشجویان مهندسی (توانمندی‌های فردی، دانش و مهارت تخصصی، توانمندی‌های اجتماعی، مهارت‌های فناورانه)، الزامات دانشگاهی (الزامات آموزشی، بسترهای آموزشی، الزامات برنامه درسی، بهسازی اساتید)، الزامات غیردانشگاهی (مهارت‌های راهبردی صنعت ۴.۰، الزامات بازار کار) و توسعه منابع انسانی شناسایی گردید.

Wawak و همکاران (2024) به بررسی عوامل مؤثر بر موفقیت اجرای کیفیت ۴.۰ در دانشگاه‌ها پرداخته‌اند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که یادگیری مداوم و توسعه حرفه‌ای مدرسین نقش بسیار مهمی در موفقیت به‌کارگیری فناوری‌های جدید، کیفیت ۴.۰ و چارچوب همکاری سه‌گانه در دانشگاه‌ها دارد. اعضای هیئت علمی باید مهارت‌های دیجیتال لازم را کسب کنند تا بتوانند به‌طور مؤثر از فناوری‌های جدید و اصول کیفیت ۴.۰ در شیوه‌های آموزشی خود استفاده کنند.

AlMalki and Durugbo (2023)، در پژوهشی با استفاده از روش دلفی به بررسی دیدگاه کارشناسان سه حوزه دانشگاه، صنعت و دولت (مثلث سه‌گانه) با هدف آماده‌سازی نظام آموزشی برای عصر صنعت ۴.۰ پرداخته‌اند و عوامل کلیدی در نهادهای آموزشی برای رویارویی با این انقلاب صنعتی شناسایی، انتخاب و اولویت‌بندی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که مهم‌ترین عامل تسهیل‌کننده وجود استراتژی ملی اختصاص یافته برای آموزش مرتبط با صنعت ۴.۰ در نهادهای آموزشی می‌باشد و مهم‌ترین مانع، مخالفت با اصلاحات آموزشی مرتبط با صنعت ۴.۰ در نهادهای آموزشی است.

Zhukova و همکاران (2023)، مدل سازی مراحل استفاده از فناوری های دیجیتال برای ورود بازی وارسازی^۱ به سیستم آموزشی را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل، یک مدل چند مرحله ای جهت استفاده از فناوری های دیجیتال برای معرفی سیستم بازی وارسازی به فرآیند آموزشی برای یک سیستم اجتماعی-اقتصادی خاص شکل گرفت.

Lukita و همکاران (2020) در مطالعه ای ضرورت اصلاح نظام آموزشی و برنامه درسی در اندونزی برای آماده سازی نیروی کار این کشور برای عصر صنعت ۴.۰ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که بازنگری در برنامه درسی دانشگاه ها به سمت برنامه درسی منطبق با عصر صنعت ۴.۰ ضروری است. این برنامه درسی باید شامل ۴ مهارت کلیدی برنامه نویسی، تحلیل داده ها، توانایی در هوش مصنوعی و مهارت های نرم انعطاف پذیری و سیستم های پایداری باشد. علاوه بر ایجاد این ۴ مهارت، دانشگاه ها باید روش های یادگیری جدیدی را که در دانشگاه های مختلف به کار گرفته می شود، برای ایجاد هماهنگی در کیفیت آموزش، به کار گیرند.

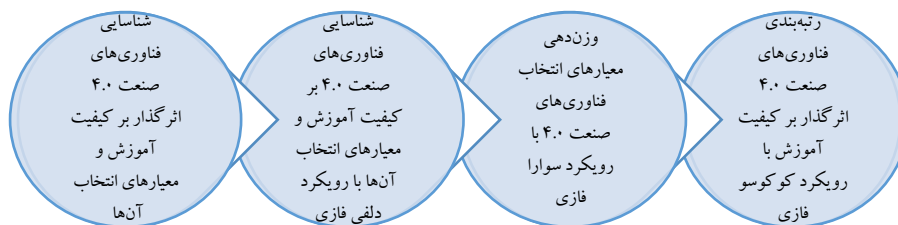
Mian و همکاران (2020) عوامل مختلف پیشرفت و اجرای صنعت ۴.۰ در دانشگاه ها برای آموزش پایدار را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. یافته های این تحقیق نشان داد که دانشگاه ها باید از نقاط قوت خود برای استفاده از فرصت های موجود در صنعت ۴.۰ استفاده کنند. همچنین، الزامات اساسی برای موفقیت در این دوران شامل برنامه ریزی مالی کارآمد، نیروی کار ماهر، افزایش مشارکت های صنعتی، زیرساخت های پیشرفته، برنامه های درسی به روز و کارگاه های آموزشی است.

Marks and Thomas (2022) استفاده از فناوری واقعیت مجازی و افزوده در آموزش عالی را مورد بررسی قرار دادند. این پژوهش نشان داد که این فناوری با استفاده از مدل های سه بعدی و ویدیوهای تعاملی ۳۶۰ درجه، یادگیری عمیق در محیط هایی را که دسترسی فیزیکی به آن ها برای دانشجویان دشوار بود، تسهیل می کند.

¹ Gamification

روش

پژوهش حاضر از لحاظ، هدف کاربردی است چرا که از نتایج این تحقیق می‌توان در دانشگاه‌ها، مدارس و موسسات عالی کشور بهره برد. همچنین پژوهش حاضر از لحاظ ماهیت و روش، توصیفی- علی و از لحاظ گردآوری داده‌ها، پیمایشی است. مراحل اجرای تحقیق به صورت شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. مراحل اجرای تحقیق

۱.۳ شناسایی فناوری‌های صنعت ۴.۰ اثرگذار بر کیفیت آموزش و معیارهای انتخاب آنها

در گام اول فناوری‌های صنعت ۴.۰ اثرگذار بر کیفیت آموزش و معیارهای انتخاب آنها بر اساس مرور مطالعات و ادبیات صورت گرفته در حوزه صنعت ۴.۰ شناسایی شدند که به صورت جدول‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. در این پژوهش با سرچ واژگان کلیدی (“Educational institutions” OR “University” OR “School” OR “Classroom” OR “Education” OR “Higher education” OR “Quality of higher education” OR “Quality of education” OR “Education quality” OR “Learning Quality” OR “Academic Quality” OR “Teaching Quality” OR “Competence of Education”) AND (“Industry 4.0” OR “Industrie 4.0” OR “The fourth industrial revolution” OR “The 4th industrial revolution” OR “I 4.0”)

در پایگاه های اسکوپوس^۱، وب آف ساینس^۲، ساینس دایرکت^۳، امرالد^۴، اسپرینگر^۵ و تیلور اند فرانسیس^۶ مقالات مرتبط با موضوع مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با جستجو در پایگاه های اطلاعات فارسی مگیران، علم نت و پایگاه علمی جهاد دانشگاهی مقالات داخلی مرتبط با موضوع نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

۲.۳ دلفی فازی

به منظور بومی سازی معیارهای انتخاب فناوری های صنعت ۴.۰ بدست آمده از ادبیات پژوهش، از خبرگان دانشگاهی و معلمان مدارس با استفاده از رویکرد دلفی فازی نظرخواهی شد. رویکرد دلفی فازی می تواند به صورت یک مرحله ای و چندمرحله ای انجام شود. در صورتی که محققان به دنبال اضافه کردن متغیرها و عوامل مورد بررسی نباشند، از رویکرد دلفی فازی یک مرحله ای استفاده می شود. اگر محققان به دنبال اضافه کردن متغیرهای جدید توسط خبرگان باشند، از رویکرد دلفی فازی چند مرحله ای استفاده می شود. این رویکرد تا جایی ادامه پیدا خواهد کرد که عاملی از حد آستانه پایین تر نباشد. همچنین در راستای مقایسه نظرات خبرگان، در صورتی که اختلاف مقدار فازی زدایی شده نظرات آنها برای هر عامل کمتر از ۰/۱ در دور جدید نسبت به دور قبل بود، آن عامل مورد تأیید است (Bui, Tsai, Tseng, & Ali, 2020). در پژوهش حاضر به دلیل خواست محققین از خبرگان در راستای اضافه کردن معیارهای انتخاب فناوری های صنعت ۴.۰ به صورت یک سوال باز در پرسشنامه از رویکرد چند مرحله ای استفاده شده است. مراحل اجرای رویکرد دلفی فازی به صورت شکل ۲ نشان داده شده است (Bahrami, Hashemzadeh, Shahmansouri, & Fathi Hefeshjani, 2023; Petrudi, Ghomi, & Mazaheriasad, 2022).

¹ Scopus

² Web of science

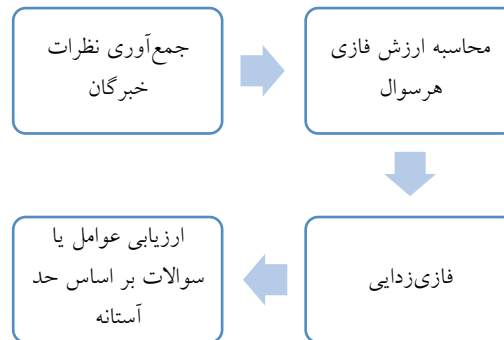
³ Science direct

⁴ Emerald

⁵ Springer

⁶ Taylor and Francis

شکل ۲. مراحل اجرای رویکرد دلفی فازی



براساس شکل ۲، ابتدا داده‌های مرتبط با پرسشنامه رویکرد دلفی فازی از خبرگان پژوهش جمع‌آوری شد. خبرگان مورد نظر برای استفاده از رویکرد دلفی فازی، اساتید دانشگاهی و معلمان مدرسه در شهر اصفهان هستند. با توجه به محدودیت‌های مختلفی از جمله دسترسی به تمامی خبرگان، زمان و هزینه از روش نمونه‌گیری گلوله برفی استفاده شده است. براساس این روش پس از انتخاب خبرگان اولیه، سایر خبرگان از طریق معرفی خبرگان اولیه شناسایی شده‌اند. این روند تا جایی ادامه یافت که خبرگان جدیدی توسط خبرگان اولیه معرفی نشدند. بر این اساس تعداد ۲۷ خبره شامل معلمان مدارس و اساتید دانشگاهی مسلط به موضوع صنعت ۴.۰ انتخاب شدند. سپس نظرات خبرگان براساس متغیرهای کلامی (جدول ۱) جمع‌آوری شد.

جدول ۱. اصطلاحات کلامی و اعداد فازی مثلثی متناظر (Ahmad, Fei, Shoaib, & Ali, 2024)

ردیف	متغیرهای کلامی	اعداد فازی متناظر
۱	بسیار پراهمیت	(۰/۷، ۰/۹، ۱)
۲	پراهمیت	(۰/۵، ۰/۷، ۰/۹)
۳	متوسط	(۰/۳، ۰/۵، ۰/۷)
۴	کم اهمیت	(۰/۱، ۰/۳، ۰/۵)
۵	بسیار کم اهمیت	(۰، ۰/۱، ۰/۳)

پس از جمع آوری نظر خبرگان، ماتریس نظرات مختلف خبرگان به یک ماتریس اجماع شده تبدیل می شود. شایان ذکر است که ارزش فازی هر سوال به صورت $\tilde{A}_j = (L_j, M_j, U_j)$ نمایش داده شده که L_j حد پایین، M_j حد متوسط و U_j حد بالا است. بر اساس روابط زیر ماتریس اجماع نظر خبرگان تشکیل شده است:

رابطه ۱

$$L_j = \min(x_{ij}) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, m$$

رابطه ۲

$$M_j = \left(\prod_{i=1}^{n.m} x_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, m$$

رابطه ۳

$$U_j = \max(x_{ij}) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, m$$

L_j بیان گر حد پایین ارزش فازی سوال یا عامل زام پرسشنامه می باشد که برابر با کوچکترین مقداری است که خبرگان به آن تخصیص داده اند. M_j نیز نشان دهنده حد وسط ارزش فازی شاخص زام می باشد که از طریق محاسبه میانگین هندسی کلیه نظرات خبرگان بدست می آید. علاوه بر این U_j بیان گر حد بالای ارزش فازی سوال یا عامل زام پرسشنامه می باشد که برابر با بزرگترین مقداری است که خبرگان به آن تخصیص داده اند. x_{ij} نیز مقدار تخصیص داده شده توسط خبرگان است. در ادامه اعداد فازی محاسبه شده از مراحل قبل به اعداد قطعی تبدیل می شوند. در این پژوهش از رابطه ۴ به منظور فازی زادی بهره گرفته شده است.

رابطه ۴

$$S_j = \frac{L_j + 2M_j + U_j}{4}$$

در نهایت بر اساس تعیین حد آستانه، عوامل تأیید یا رد می شوند. یکی از روش های تعیین حد آستانه نظرخواهی از خبرگان می باشد (Ahmad et al., 2024) که در این پژوهش مقدار ۰/۶ برای تعیین حد آستانه در نظر گرفته شده است.

۳.۳ سوارا فازی

تجزیه و تحلیل گام به گام نسبت ارزیابی وزن^۱ (سوارا) توسط کرسولین و همکاران (۲۰۱۰) توسعه داده شد (Keršulienė, Zavadskas, & Turskis, 2010). مزیت اصلی روش سوارا این است که تعداد مقایسه‌ها در این روش در مقایسه با تکنیک‌های مشابه همچون فرآیند تحلیل سلسله مراتبی کمتر است. مراحل انجام روش سوارا فازی به شرح زیر است (Demir, Riaz, & Deveci, 2024):

مرحله اول: ترتیب معیارها به صورت نزولی

در مرحله اول براساس نظرخواهی از خبرگان، معیارهای تعیین شده در جهت انتخاب فناوری‌های صنعت ۴.۰ اثرگذار بر کیفیت آموزش به صورت نزولی رتبه‌بندی می‌شوند. با توجه به وجود بیش از یک خبره، بر اساس میزان فراوانی و محاسبه درصد مربوطه، معیارها به صورت نزولی قرار داده می‌شوند.

مرحله دوم: تعیین نسبت اهمیت نسبی (S_j)

در مرحله دوم و با شروع از معیار دوم، اهمیت نسبی معیار j نسبت به معیار قبلی ($j-1$) بدست می‌آید. این روند تا آخرین معیار ادامه پیدا می‌کند. شایان ذکر است که محاسبه تعیین نسبت اهمیت نسبی برای معیار اول انجام نمی‌شود. برای تعیین اهمیت نسبی از خبرگان براساس متغیرهای زبانی مبتنی بر شرایط فازی (جدول ۲) نظرخواهی شد. شایان ذکر است که خبرگان مورد نظر همان خبرگان منتخب شناسایی شده از رویکرد دلفی فازی هستند.

جدول ۲. متغیرهای کلامی

ردیف	متغیرهای کلامی	اعداد فازی متناظر
۱	اهمیت یکسان	(۱، ۱، ۱)
۲	نیست کم اهمیت	(۰/۶۶۷، ۰/۷۵، ۱)
۳	کم اهمیت	(۰/۴، ۰/۵، ۰/۶۶۷)
۴	بسیار کم اهمیت	(۰/۲۸۵، ۰/۳۳۳، ۰/۴)
۵	خیلی کم اهمیت	(۰/۲۲۲، ۰/۲۵، ۰/۲۸۵)

^۱ Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA)

مرحله سوم: اجماع نظر خبرگان

در مرحله دوم نظر ۲۷ خبره منتخب در این پژوهش از طریق روابط ۱، ۲ و ۳ به یک ماتریس اجماع تبدیل می شود. شایان ذکر است که ارزش فازی هر سوال به صورت $\tilde{X} = (L_j, M_j, U_j)$ نمایش داده شده که L_j حد پایین، M_j حد متوسط و U_j حد بالا است.

مرحله چهارم: تعیین ضریب رشد (K_j)

در مرحله پنجم ضریب رشد معیار J ام براساس رابطه ۵ محاسبه می شود. ضریب رشد برای معیار اول به صورت پیش فرض برابر با یک در نظر گرفته می شود.

$$K_j = \begin{cases} 1 & j=1 \\ S_j \oplus \% & j>1 \end{cases} \quad \text{رابطه ۵}$$

مرحله پنجم: تعیین میزان اهمیت معیار J ام (q_j)

در این مرحله میزان اهمیت معیار J ام از طریق رابطه ۶ محاسبه می شود. میزان اهمیت معیار اول به صورت پیش فرض یک در نظر گرفته شده است.

$$q_j = \begin{cases} 1 & j=1 \\ \frac{q_{j-1}}{K_j} & j>1 \end{cases} \quad \text{رابطه ۶}$$

مرحله ششم: تعیین وزن نسبی فازی

برای تعیین وزن نسبی فازی معیار J ام از رابطه ۷ استفاده می شود.

$$W_j = \frac{q_j}{\sum_{j=1}^n q_j} \quad \text{رابطه ۷}$$

پس از تعیین وزن نسبی فازی، وزن قطعی هر معیار براساس رابطه ۸ محاسبه می شود.

$$W_j = \frac{W_{Lj} + W_{Mj} + W_{Uj}}{3} \quad \text{رابطه ۸}$$

در رابطه ۸، W_{Lj} ، W_{Mj} و W_{Uj} به ترتیب نشان‌دهنده حد پایین، وسط و بالای عدد فازی وزن نهایی هستند.

۴.۳ کوکوسو فازی

روش کوکوسو توسط یزدانی و همکاران (۲۰۱۹) به عنوان یک روش جدید تصمیم‌گیری چندمعیاره که ترکیبی از وزن‌دهی افزودنی ساده و مدل محصول با وزن نمایی است، معرفی شد. کوکوسو یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که براساس راه حل‌های مصالحه و رویکردی مفید در رتبه‌بندی یا انتخاب گزینه‌های متعدد است. در ادامه مراحل رویکرد کوکوسو شرح داده شده است (Demir, Damjanović, Matović, & Vujadinović, 2022):

مرحله اول: تشکیل ماتریس تصمیم

در مرحله اول ماتریس تصمیم X_{mn} که نشان‌دهنده ارزیابی m گزینه و n معیار است به صورت رابطه ۹ تشکیل می‌شود.

$$Z_o = [Z_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} Z_{o1} & L & Z_{on} \\ M & O & M \\ Z_{om1} & L & Z_{omn} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه ۹}$$

در رابطه ۹، $Z_o = (Z_o^L, Z_o^M, Z_o^U)$ اعداد فازی مثلثی بوده که Z_o^L ، Z_o^M و Z_o^U به ترتیب نشان‌دهنده حد پایین، متوسط و بالا هستند. همچنین i نشان‌دهنده گزینه‌ها و j نشان‌دهنده معیارها است.

مرحله دوم: نظرخواهی از خبرگان و تشکیل ماتریس اجماع

در مرحله دوم از خبرگان براساس متغیرهای کلامی مبتنی بر شرایط فازی (جدول ۳) نظرخواهی و با استفاده از میانگین حسابی ماتریس اجماع تشکیل شد. شایان ذکر است که خبرگان موردنظر همان خبرگان منتخب شناسایی شده از رویکرد دلفی فازی هستند.

جدول ۳. متغیرهای زبانی

ردیف	متغیرهای کلامی	اعداد فازی متناظر
۱	خیلی کم	(۰, ۰, ۰/۲۵)
۲	کم	(۰, ۰/۲۵, ۰/۵)
۳	متوسط	(۰/۲۵, ۰/۵, ۰/۷۵)
۴	زیاد	(۰/۵, ۰/۷۵, ۱)
۵	خیلی زیاد	(۰/۷۵, ۱, ۱)

مرحله سوم: نرمال سازی ماتریس تصمیم

در مرحله سوم براساس معیارهای مثبت و منفی، ماتریس تصمیم نرمال می شود. نرمال سازی ماتریس تصمیم برای معیارهای منفی به صورت رابطه ۱۰ و برای معیارهای مثبت بر اساس رابطه ۱۱ نشان داده شده است.

رابطه ۱۰

$$\begin{aligned} \tilde{R}^0 &= [\tilde{r}_{ij}^0]_{m \times n} = \tilde{r}_{ij}^0 = (r_{ij}^L, r_{ij}^M, r_{ij}^U) = \frac{\max(\tilde{z}_{ij}^0) - \tilde{z}_{ij}^0}{\max(\tilde{z}_{ij}^0) - \min(\tilde{z}_{ij}^0)} \\ &= \left(\frac{\max(\tilde{z}_{ij}^{0U}) - \tilde{z}_{ij}^{0U}}{\max(\tilde{z}_{ij}^{0U}) - \min(\tilde{z}_{ij}^{0L})}, \frac{\max(\tilde{z}_{ij}^{0U}) - \tilde{z}_{ij}^{0M}}{\max(\tilde{z}_{ij}^{0U}) - \min(\tilde{z}_{ij}^{0L})}, \frac{\max(\tilde{z}_{ij}^{0U}) - \tilde{z}_{ij}^{0L}}{\max(\tilde{z}_{ij}^{0U}) - \min(\tilde{z}_{ij}^{0L})} \right) \end{aligned}$$

رابطه ۱۱

$$\begin{aligned} \tilde{R}^0 &= [\tilde{r}_{ij}^0]_{m \times n} = \tilde{r}_{ij}^0 = (r_{ij}^L, r_{ij}^M, r_{ij}^U) = \frac{\tilde{z}_{ij}^0 - \min(\tilde{z}_{ij}^0)}{\max(\tilde{z}_{ij}^0) - \min(\tilde{z}_{ij}^0)} \\ &= \left(\frac{\tilde{z}_{ij}^{0L} - \min(\tilde{z}_{ij}^{0L})}{\max(\tilde{z}_{ij}^{0U}) - \min(\tilde{z}_{ij}^{0L})}, \frac{\tilde{z}_{ij}^{0M} - \min(\tilde{z}_{ij}^{0L})}{\max(\tilde{z}_{ij}^{0U}) - \min(\tilde{z}_{ij}^{0L})}, \frac{\tilde{z}_{ij}^{0U} - \min(\tilde{z}_{ij}^{0L})}{\max(\tilde{z}_{ij}^{0U}) - \min(\tilde{z}_{ij}^{0L})} \right) \end{aligned}$$

مرحله چهارم: محاسبه مقادیر جمع وزنی و ضرب وزنی

در مرحله چهارم مقادیر جمع وزنی فازی ($\tilde{S}_i^0$) و ضرب وزنی فازی ($\tilde{P}_i^0$) از طریق روابط ۱۲ و ۱۳ محاسبه می شود.

$$S_i^0 = (S_i^L, S_i^M, S_i^U) = \sum_{j=1}^n w_j \beta_{ij}^0 = (\sum_{j=1}^n w_j r_{ij}^L, \sum_{j=1}^n w_j r_{ij}^M, \sum_{j=1}^n w_j r_{ij}^U) \quad \text{رابطه ۱۲}$$

$$\beta_i^0 = (P_i^L, P_i^M, P_i^U) = \sum_{j=1}^n \beta_{ij}^{w_j} = (\sum_{j=1}^n (r_{ij}^L)^{w_j}, \sum_{j=1}^n (r_{ij}^M)^{w_j}, \sum_{j=1}^n (r_{ij}^U)^{w_j}) \quad \text{رابطه ۱۳}$$

مرحله پنجم: تعیین نمره ارزیابی گزینه‌ها با استفاده از سه استراتژی

در مرحله پنجم، امتیاز گزینه‌ها براساس سه استراتژی و از سه رابطه حاصل می‌شود. استراتژی اول براساس میانگین حسابی (β_{ia}^0)، استراتژی دوم تعیین نمران نسبی در مقایسه با بهترین‌ها (β_{ib}^0) و استراتژی سوم، مصالحه و سازش میان دو استراتژی اول (β_{ic}^0) است. روابط سه استراتژی به ترتیب به صورت روابط ۱۴، ۱۵ و ۱۶ نشان داده شده است.

رابطه ۱۴

$$\beta_{ia}^0 = (f_{ia}^L, f_{ia}^M, f_{ia}^U) = \frac{\beta_i^0 + S_i^0}{\sum_{i=1}^m \beta_i^0 + S_i^0} = (\frac{P_i^L + S_i^L}{\sum_{i=1}^m P_i^U + S_i^U}, \frac{P_i^M + S_i^M}{\sum_{i=1}^m P_i^U + S_i^U}, \frac{P_i^U + S_i^U}{\sum_{i=1}^m P_i^U + S_i^L})$$

رابطه ۱۵

$$\beta_{ib}^0 = (f_{ib}^L, f_{ib}^M, f_{ib}^U) = \frac{S_i^0}{\min S_i^0} + \frac{\beta_i^0}{\min \beta_i^0} = (\frac{S_i^L}{\min S_i^L} + \frac{P_i^L}{\min P_i^L}, \frac{S_i^M}{\min S_i^L} + \frac{P_i^M}{\min P_i^L}, \frac{S_i^U}{\min S_i^L} + \frac{P_i^U}{\min P_i^L})$$

رابطه ۱۶

$$\beta_{ic}^0 = (f_{ic}^L, f_{ic}^M, f_{ic}^U) = \frac{\lambda(S_i^0) + (1-\lambda)(\beta_i^0)}{\lambda(\max S_i^0) + (1-\lambda)(\max \beta_i^0)} = (\frac{\lambda(S_i^L) + (1-\lambda)(P_i^L)}{\lambda(\max S_i^U) + (1-\lambda)(\max P_i^U)}, \frac{\lambda(S_i^M) + (1-\lambda)(P_i^M)}{\lambda(\max S_i^U) + (1-\lambda)(\max P_i^U)}, \frac{\lambda(S_i^U) + (1-\lambda)(P_i^U)}{\lambda(\max S_i^U) + (1-\lambda)(\max P_i^U)})$$

در رابطه ۱۶، λ توسط تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود. مقدار λ برابر با ۰/۵ انعطاف‌پذیری زیادی دارد (Das & Shaw, 2017)؛ بنابراین در این پژوهش مقدار ۰/۵ در نظر گرفته شده است.

مرحله ششم: فازی زدایی

در مرحله ششم، مقادیر سه استراتژی به دست آمده از مرحله پنجم براساس روابط ۱۷، ۱۸ و ۱۹ فازی زدایی می شوند.

$$f_{ia} = \frac{f_{ia}^L + f_{ia}^M + f_{ia}^U}{3} \quad \text{رابطه ۱۷}$$

$$f_{ib} = \frac{f_{ib}^L + f_{ib}^M + f_{ib}^U}{3} \quad \text{رابطه ۱۸}$$

$$f_{ic} = \frac{f_{ic}^L + f_{ic}^M + f_{ic}^U}{3} \quad \text{رابطه ۱۹}$$

مرحله هفتم: تعیین امتیاز نهایی گزینه ها

در مرحله هفتم امتیاز نهایی هر گزینه محاسبه می شود. امتیاز نهایی از طریق جمع میانگین هندسی و میانگین حسابی سه استراتژی مرحله قبل است. امتیاز بالاتر نشان از برتری گزینه مورد نظر دارد.

$$f_i = (f_{ia} f_{ib} f_{ic})^{\frac{1}{3}} + \left(\frac{f_{ia} + f_{ib} + f_{ic}}{3} \right) \quad \text{رابطه ۲۰}$$

یافته ها

با مرور ادبیات و پیشینه مرتبط با صنعت ۴.۰ و کیفیت آموزش، فناوری های صنعت ۴.۰ اثرگذار بر کیفیت آموزش و معیارهای موردنیاز برای اولویت بندی فناوری های صنعت ۴.۰ به صورت جدول های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

جدول ۴. فناوری های صنعت ۴.۰ اثرگذار بر کیفیت آموزش

فناوری	شرح	رفرنس
هوش مصنوعی و	با استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین، می توان الگوهای یادگیری فردی را شناسایی و محتوای آموزشی را متناسب با نیازهای هر فرد شخصی سازی کرد. این امر	(Ilić, Păun, Popović Šević, Hadžić, & Jianu, 2021; Kuleto et al., 2021)

یادگیری ماشین ^۱	موجب افزایش مشارکت و یادگیری موثرتر دانش‌آموزان می‌شود. هوش مصنوعی نیز می‌تواند داده‌های آموزشی مانند نمرات، مشارکت و رفتار دانش‌آموزان را تحلیل کند. این تحلیل‌ها به شناسایی الگوها، چالش‌ها و فرصت‌های بهبود کیفیت آموزش کمک می‌کند.
اینترنت اشیا	با اتصال دستگاه‌های مختلف به یکدیگر در محیط آموزشی، اینترنت اشیا امکان جمع‌آوری و تحلیل دقیق‌تر داده‌های آموزشی مانند حضور و غیاب، عملکرد، تعامل و رفتار دانش‌آموزان را فراهم می‌کند. این تحلیل‌ها به برنامه‌ریزی و بهبود آموزش کمک می‌کند. با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده توسط اینترنت اشیا می‌توان الگوها و نیازهای یادگیری هر دانش‌آموز را شناسایی و محتوای آموزشی را متناسب با آن شخصی‌سازی نمود.
تجزیه و تحلیل کلان داده‌ها ^۲	تجزیه و تحلیل داده‌های دانش‌آموزان از جمله عملکرد تحصیلی، تعامل و رفتار، می‌تواند به معلمان و اساتید دانشگاهی در درک بهتر نقاط قوت و ضعف فردی هر دانش‌آموز و ارائه آموزش‌های شخصی‌تر و هدفمندتر کمک کند. تجزیه و تحلیل داده‌ها به مدیران در شناسایی الگوهای عملکرد، تخصیص بهینه منابع و ایجاد برنامه‌های مداخله‌ای برای حمایت از دانش‌آموزان در معرض افت تحصیلی کمک می‌نماید.
واقعیت مجازی	واقعیت مجازی دانش‌آموزان و دانشجویان را به مکان‌ها و زمان‌های مختلف برده و امکان درک مفاهیم انتزاعی را از طریق شبیه‌سازی‌های واقعی فراهم می‌کند. به عنوان مثال، دانش‌آموزان می‌توانند از اعماق اقیانوس دیدن کنند، در یک سفینه فضایی به دور سیارات بچرخند یا در یک رویداد تاریخی حضور داشته باشند.
واقعیت افزوده ^۳	واقعیت افزوده نیز اطلاعات دیجیتال را با دنیای واقعی ادغام و به دانش‌آموزان امکان می‌دهد تا با اشیاء مجازی در محیط خود تعامل داشته باشند. به عنوان مثال، دانش‌آموزان

^۱ Machine Learning

^۲ Big data analysis

^۳ Augmented Reality

	می‌توانند مدل‌های سه‌بعدی اندام‌های بدن را روی بدن خود مشاهده و معادلات ریاضی را در فضای واقعی حل کرده یا با شخصیت‌های تاریخی تعامل داشته باشند.
(Al-Malah, Aljazeera, Alrikabi, & Mutar, 2021; Thavi, Jhaveri, Narwane, Gardas, & Jafari Navimipour, 2024)	محاسبات ابری^۱ با استفاده از محاسبات ابری دانش‌آموزان و معلمان می‌توانند در هر زمان و از هر مکانی به منابع آموزشی، از جمله برنامه‌های درسی، ابزارهای یادگیری و مواد آموزشی دسترسی داشته باشند. علاوه بر این آن‌ها می‌توانند با یکدیگر همکاری کرده، پروژه‌ها را به اشتراک بگذارند و در زمان واقعی بازخورد دریافت کنند.
(Bucea-Manea-Toniş et al., 2021; Widayanti, Harahap, Lutfiani, Oganda, & Manik, 2021)	بلاک‌چین^۲ بلاک‌چین برای ردیابی مالکیت محتوای آموزشی، مانند مقالات، کتاب‌ها و منابع یادگیری، مورد استفاده قرار گرفته و از سرقت ادبی جلوگیری می‌کند. همچنین بلاک‌چین برای تسهیل پرداخت‌های شهری، کمک هزینه تحصیلی و سایر هزینه‌های آموزشی به روشی امن، شفاف و کارآمد استفاده می‌شود.
(Assante, Cennamo, & Placidi, 2020; Hansen et al., 2020)	چاپ سه بعدی^۳ با استفاده از چاپ سه‌بعدی دانش‌آموزان می‌توانند مفاهیم انتزاعی را با ایجاد مدل‌های سه‌بعدی فیزیکی از اشیاء، مفاهیم و فرآیندها درک کنند. استفاده از فناوری چاپ سه‌بعدی برای تولید مدل‌ها و شبیه‌سازی‌های واقعی فرصت‌های آموزشی نوآورانه‌ای فراهم کرده که به دانشجویان/دانش‌آموزان این امکان را می‌دهد تا با محتوای آموزشی به صورت کاملاً تجربی و عملی در ارتباط باشند.
(Birt, Stromberga, Cowling, & Moro, 2018; Q. Wang & Li, 2024)	فناوری واقعیت ترکیبی^۴ این فناوری با ترکیب محیط واقعی و دنیای مجازی، امکان ایجاد تجربه‌های آموزشی فراگیر را فراهم می‌آورد. دانش‌آموزان می‌توانند با تعامل با محتوای آموزشی مجازی در یک محیط واقعی، مفاهیم پیچیده را به شکل ملموس‌تری درک کرده و به‌خاطر بسپارند. به عنوان مثال، در آموزش زیست‌شناسی، امکان شبیه‌سازی ساختار سلولی یا فرآیندهای بیولوژیکی با استفاده از واقعیت ترکیبی

¹ Cloud Computing

² Blockchain

³ 3D printing

⁴ Mixed reality technology

می‌تواند به درک بهتر دانش‌آموزان منجر شود. همچنین در آموزش مهندسی، طراحی محصول با استفاده از این فناوری می‌تواند امکان تعامل با نمونه‌های واقعی و مجازی را فراهم کرده و به بهبود تجربه یادگیری کمک کند.		
سیستم سایبر- فیزیکی ^۱	سیستم سایبر- فیزیکی ارتباط بین دنیای فیزیکی و مجازی را برقرار کرده و امکان ارتباط و تعامل بین افراد را بهبود می‌بخشد. از طریق این سیستم‌ها، امکان دسترسی به منابع آموزشی متنوع، جلسات آموزشی آنلاین، آزمون‌های الکترونیکی و ابزارهای همکاری آنلاین فراهم می‌شود که این امور بهبود قابل توجهی را در کیفیت و کارایی آموزش ایجاد می‌کنند. علاوه بر این، این سیستم‌ها امکان مشاهده و پایش فعالیت‌های آموزشی، ارزیابی عملکرد دانشجویان و ارائه بازخورد بهبود یافته را نیز فراهم می‌کنند.	(Mourtzis, Vlachou, Dimitrakopoulos, & Zogopoulos, 2018; Veshneva, Bolshakov, & Fedorova, 2020)

علاوه بر این به منظور انتخاب فناوری‌های صنعت ۴.۰، از معیارهای جدول ۵ که براساس مرور ادبیات و پیشینه پژوهش بدست آمده، استفاده شده است.

جدول ۵. معیارهای انتخاب فناوری‌های صنعت ۴.۰

معیارهای موردنیاز برای اولویت‌بندی فناوری‌های صنعت ۴.۰ در کیفیت آموزش	شرح	منبع
تناسب با نیاز آموزشی ^۲	مرتبط بودن با نیاز آموزشی به سازگاری و تطابق فناوری‌های صنعت ۴.۰ با نیازها و اهداف آموزشی همچون افزایش دسترسی به منابع آموزشی، غنی‌سازی محتوای آموزشی،	(Ayeni. Al Hamad. Chisom. Osawaru, & Adewusi, 2024; Lacka, Wong, & Haddoud, 2021)

^۱ Cyber-physical system

^۲ Appropriateness to educational needs

افزایش تعامل دانشجویان، ارزیابی و بازخورد آموزش و... اشاره کرد.	
سهولت استفاده و یادگیری ^۱	سهولت استفاده و یادگیری به عدم پیچیدگی، سادگی استفاده، قابلیت آموزش سریع و اثربخشی یادگیری فناوری های صنعت ۴.۰ اشاره دارد.
سازگاری ^۲	سازگاری به تطابق فناوری های صنعت ۴.۰ با زیرساخت ها و فناوری های موجود در دانشگاه ها، مدارس و موسسات عالی اشاره دارد.
امنیت ^۳	امنیت، به حفظ داده ها و اطلاعات و نگهداری از حریم خصوصی کاربران نهایی همچون اساتید، دانشجویان و دانش آموزان اشاره دارد.
مقرون به صرفه بودن ^۴	مقرون به صرفه بودن به تناسب هزینه های مربوط به خرید، نصب، راه اندازی، نگهداری و به روزرسانی فناوری با بودجه دانشگاه ها، مدارس و مؤسسات عالی اشاره دارد.
پایداری و قابلیت ارتقاء ^۵	پایداری و قابلیت ارتقاء و توسعه به تداوم کارکرد فناوری های صنعت ۴.۰، پشتیبانی و قابلیت به روز رسانی نرم افزارهای مرتبط و امکان ارتقاء و توسعه آن ها در آینده اشاره دارد.

¹ Ease of use and learning

² Compatibility

³ Security

⁴ Cost-effectiveness

⁵ Sustainability and upgradeability

تناسب با فرهنگ سازمانی ^۱	تناسب با فرهنگ سازمانی به سازگاری فرهنگ دانشگاه‌ها، مدارس و مؤسسات عالی و ارزش‌های حاکم بر آن‌ها اشاره دارد.	Bendak, Shikhli. & Abdel-Razek, 2020; Naveed, Alhaidan, Al Halbusi, & Al-Swidi. 2022; Porto. 2020
تعهد به کیفیت ^۲	ارائه‌دهنده فناوری باید به ارائه خدمات با کیفیت و پشتیبانی مناسب تعهد داشته باشد. سابقه و شهرت شرکت ارائه‌دهنده فناوری می‌تواند در این زمینه راهنمای مناسبی باشد.	Foster & Gardner. 2022;) (Sunarsi et al. 2020

در ادامه براساس رویکرد دلفی فازی و با استفاده از نرم افزار اکسل، معیارهای نهایی مرتبط با تعیین اولویت‌بندی فناوری‌های صنعت ۴.۰ مشخص شده است. در جدول ۶ و با استفاده از روابط ۱، ۲ و ۳، ماتریس اجماع شده فازی حاصل از نظر خبرگان نشان داده شده است.

جدول ۶. مرحله اول رویکرد دلفی فازی

عوامل	حد پایین (L)	حد متوسط (M)	حد بالا (U)	مقدار فازی‌زدایی شده	نتیجه
مرتبط بودن با نیاز آموزشی	۰/۷	۰/۹	۱	۰/۸۷۵	تأیید
سهولت استفاده و یادگیری	۰/۵	۰/۸۶۸	۱	۰/۸۰۹	تأیید
سازگاری	۰/۵	۰/۸۲۲	۱	۰/۷۸۶	تأیید
امنیت	۰/۵	۰/۸۵۲	۱	۰/۸۰۱	تأیید
مقرون به صرفه بودن	۰/۷	۰/۹	۱	۰/۸۷۵	تأیید
پایداری و قابلیت ارتقاء و توسعه	۰/۵	۰/۷۶۵	۱	۰/۷۵۷	تأیید
تناسب با فرهنگ سازمانی	۰/۳	۰/۷۴۷	۱	۰/۶۹۸	تأیید
تعهد به کیفیت	۰/۵	۰/۷۶۵	۱	۰/۷۵۷	تأیید

^۱ Appropriateness to organizational culture

^۲ Commitment to quality

با توجه به نتایج بدست آمده در جدول ۶، تمامی عوامل به دلیل مقدار فازی زدایی شده بالاتر از حد آستانه (۰/۶) مورد تأیید قرار گرفتند. علاوه بر این با توجه به خواست نویسندگان پژوهش از خبرگان مرتبط با اضافه کردن معیارهای موردنظر مؤثر بر رتبه بندی فناوری های صنعت ۴۰ اثرگذار بر کیفیت آموزش، معیار مصرف انرژی و انتشار کربن و انطباق با ملاحظات اخلاقی و قانونی توسط خبرگان معرفی شد؛ بنابراین پرسشنامه مرتبط با رویکرد دلفی فازی در دور دوم و اضافه کردن عوامل موردنظر خبرگان میان آن ها توزیع شد. نتایج حاصل از دور دوم رویکرد دلفی فازی به صورت جدول ۷ نشان داده شده است.

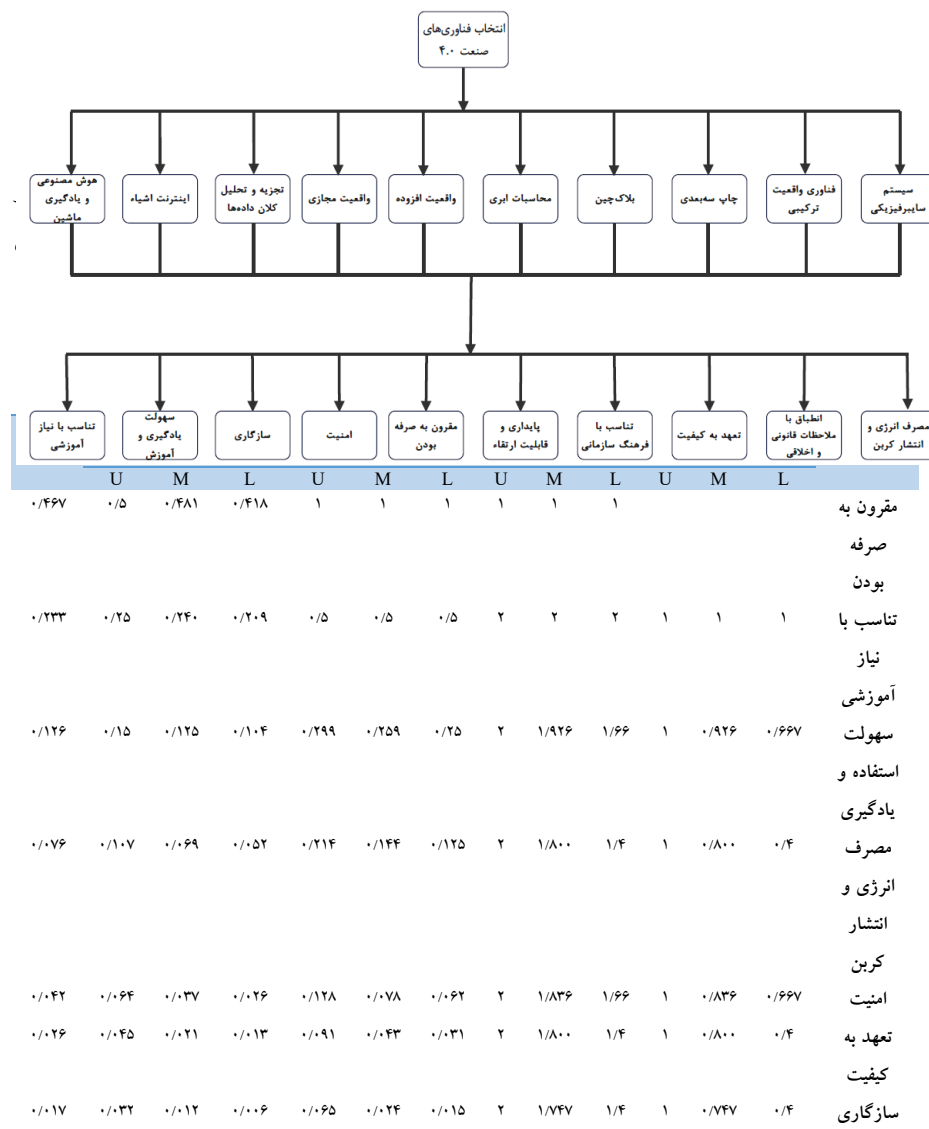
جدول ۷. نتایج حاصل از دور دوم رویکرد دلفی فازی

عوامل	حد پایین	حد متوسط	حد بالا	مقدار فازی زدایی شده مرحله دوم	مقدار فازی زدایی شده مرحله اول	اختلاف دو مرحله	نتیجه
تناسب نیاز آموزشی	۰/۳	۰/۷۱	۱	۰/۸۷۵	۰/۸۷۵	۰	تأیید
سهولت استفاده و یادگیری	۰/۳	۰/۶۶	۱	۰/۸۷۵	۰/۸۰۹	۰/۰۶	تأیید
سازگاری	۰/۳	۰/۷۴	۱	۰/۷۳۷	۰/۷۸۶	۰/۰۴	تأیید
امنیت	۰/۵	۰/۷۹	۱	۰/۸۱۶	۰/۸۰۱	۰/۰۱	تأیید
مقرون به صرفه بودن	۰/۱	۰/۷۲	۱	۰/۸۷۵	۰/۸۷۵	۰	تأیید
پایداری و قابلیت ارتقاء	۰/۵	۰/۷۷	۱	۰/۷۴۴	۰/۷۵۷	۰/۰۱	تأیید
تناسب با فرهنگ سازمانی	۰/۳	۰/۷۴	۱	۰/۷۴۴	۰/۶۹۸	۰/۰۴	تأیید
تعهد به کیفیت	۰/۵	۰/۷۹	۱	۰/۸۱۶	۰/۷۵۷	۰/۰۵	تأیید
مصرف انرژی و انتشار کربن	۰/۳	۰/۷۶	۱	۰/۸۰۹	-	۰/۰۱	تأیید
انطباق با ملاحظات اخلاقی و قانونی	۰/۵	۰/۸۱	۱	۰/۷۹۳	-	۰/۰۳	تأیید

با توجه به تأیید تمامی عامل و اختلاف کمتر از ۰/۱ بین دو مرحله رویکرد دلفی فازی، رویکرد دلفی فازی در مرحله دوم به پایان می رسد.

با توجه به معیارهای مورد تأیید حاصل از رویکرد دلفی فازی در جدول ۷ و فناوری‌های صنعت ۴۰۰ اثرگذار بر کیفیت آموزش در جدول ۴، مدل مفهومی پژوهش حاضر به صورت شکل ۳ نشان داده شده است.

شکل ۳. مدل مفهومی



۰/۰۰۹	۰/۰۱۹	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۰/۰۳۹	۰/۰۱۳	۰/۰۰۷	۲	۱/۹۰۳	۱/۶۶	۱	۰/۹۰۳	۰/۶۶۷	تناسب با فرهنگ سازمانی
۰/۰۰۶	۰/۰۱۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۲۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۲	۱/۸۴۲	۱/۴	۱	۰/۸۴۲	۰/۴	پایداری و قابلیت ارتقاء
۰/۰۰۴	۰/۰۱۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۸	۰/۰۲۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۲	۱/۶۶۷	۱/۴	۱	۰/۶۶۷	۰/۴	انطباق با ملاحظات قانونی و اخلاقی

بر اساس وزن های بدست آمده برای معیارهای مرتبط با انتخاب فناوری های صنعت ۴۰ تأثیرگذار بر کیفیت آموزش، با استفاده از روش کوکوسو فازی به رتبه بندی فناوری های صنعت ۴۰ پرداخته شده است. بر اساس مراحل کوکوسو فازی، مقادیر جمع وزنی و ضرب وزنی فناوری های صنعت ۴۰ به صورت جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸. مقادیر جمع وزنی و ضرب وزنی

فناوری های صنعت ۴۰						مقادیر جمع وزنی (S_j^w)			مقادیر ضرب وزنی (P_i^w)		
						حد پایین	حد متوسط	حد بالا	حد پایین	حد متوسط	حد بالا
هوش مصنوعی و یادگیری ماشین						۰/۴۰۸	۰/۶۳۸	۰/۸۱۲	۰/۶۵۸	۰/۸۱۰	۰/۹۰۷
اینترنت اشیاء						۰/۵۹۶	۰/۸۵۱	۰/۹۸۹	۰/۸۸۶	۰/۹۶۳	۰/۹۹۷
تجزیه و تحلیل کلان داده ها						۰/۰۶۷	۰/۱۵۵	۰/۴۱۰	۰/۷۱۲	۰/۷۹۰	۰/۸۹۳
واقعیت مجازی						۰/۱۹۲	۰/۳۴۴	۰/۵۸۴	۰/۸۸۲	۰/۹۲۲	۰/۹۶۰
واقعیت افزوده						۰/۳۳۳	۰/۵۸۸	۰/۷۸۷	۰/۹۵۴	۰/۹۷۷	۰/۹۹۰
محاسبات ابری						۰/۶۸۱	۰/۹۳۶	۱	۰/۹۹۰	۰/۹۹۸	۱
بلاک چین						۰/۰۶۸	۰/۱۶۹	۰/۴۲۸	۰/۹۵۵	۰/۹۷۰	۰/۹۸۵
چاپ سه بعدی						۰/۰۵۸	۰/۱۴۴	۰/۳۹۹	۰/۹۷۴	۰/۹۸۲	۰/۹۹۱
سیستم سایبر- فیزیکی						۰/۱۲۰	۰/۲۴۵	۰/۵۰۰	۰/۹۸۷	۰/۹۹۱	۰/۹۹۵
فناوری واقعیت ترکیبی						۰/۰۶۷	۰/۱۹۳	۰/۴۴۶	۰/۹۸۹	۰/۹۹۳	۰/۹۹۶

پس از محاسبه و تعیین مقادیر جمع وزنی و ضرب وزنی؛ مقادیر مرتبط با استراتژی میانگین حسابی ($P_{ia}^{\%}$)، استراتژی تعیین نمرات نسبی در مقایسه با بهترین‌ها ($P_{ib}^{\%}$) و استراتژی مصالحه و سازش میان دو استراتژی اول ($P_{ic}^{\%}$) به صورت جدول ۹ نشان داده شده است.

جدول ۹. مقادیر مرتبط با سه استراتژی

فناوری‌های صنعت ۴۰	مقادیر $P_{ia}^{\%}$			مقادیر $P_{ib}^{\%}$			مقادیر $P_{ic}^{\%}$		
	حد پایین	حد متوسط	حد بالا	حد پایین	حد متوسط	حد بالا	حد پایین	حد متوسط	حد بالا
هوش مصنوعی و یادگیری ماشین	۰/۰۶۶	۰/۱۰۶	۰/۱۴۸	۷/۹۵	۱۲/۱۱	۱۵/۲۲	۱/۳۶	۱/۶۲	۱/۷۶
اینترنت اشیاء	۰/۰۹۲	۰/۱۳۲	۰/۱۷۲	۱۱/۵۰	۱۵/۹۷	۱۸/۳۸	۱/۶۸	۱/۸۸	۱/۹۹
تجزیه و تحلیل کلان داده‌ها	۰/۰۴۸	۰/۰۶۹	۰/۱۱۲	۲/۲۳	۳/۸۴	۸/۳۵	۱/۲۴	۱/۳۶	۱/۵۹
واقعیت مجازی	۰/۰۶۶	۰/۰۹۲	۰/۱۳۳	۴/۶۱	۷/۲۷	۱۱/۴۲	۱/۴۷	۱/۵۹	۱/۷۵
واقعیت افزوده	۰/۰۸۰	۰/۱۱۴	۰/۱۵۳	۷/۱۳	۱۱/۵۲	۱۴/۹۲	۱/۶۲	۱/۷۷	۱/۹۱
محاسبات ابری	۰/۱۰۳	۰/۱۴۱	۰/۱۷۲	۱۳/۱۲	۱۷/۴۸	۱۸/۵۷	۱/۸۳	۱/۹۶	۱/۹۹
بلاک‌چین	۰/۰۶۳	۰/۰۸۳	۰/۱۲۲	۲/۶۲	۴/۳۵	۸/۸۰	۱/۴۸	۱/۵۵	۱/۶۹۹
چاپ سه بعدی	۰/۰۶۴	۰/۰۸۲	۰/۱۲۰	۲/۴۸	۳/۹۵	۸/۳۱	۱/۵۰	۱/۵۵	۱/۶۹۰
سیستم سایبر- فیزیکی	۰/۰۶۸	۰/۰۹۰	۰/۱۲۹	۳/۵۵	۵/۶۹	۱۰/۰۴	۱/۵۴	۱/۶۱	۱/۷۴
فناوری واقعیت ترکیبی	۰/۰۶۵	۰/۰۸۶	۰/۱۲۴	۲/۶۵	۴/۸۰	۹/۱۳	۱/۵۲	۱/۵۸	۱/۷۱

پس از محاسبه سه استراتژی در روش کوکوسوفازی، در جدول ۱۰ علاوه بر فازی‌زدایی مقادیر بدست آمده در جدول ۹، امتیاز نهایی گزینه‌ها (f_i) محاسبه شده است.

جدول ۱۰. فازی زدایی مقادیر سه استراتژی و تعیین امتیاز نهایی

رتبه	امتیاز f_i	مقدار فازی زدایی شده f_{ic}	مقدار فازی زدایی شده f_{ib}	مقدار فازی زدایی شده f_{ia}	فناوری های صنعت ۴.۰ اثرگذار بر کیفیت آموزش
سوم	۵/۷۵۴	۱/۶۰	۱۱/۷۶	۰/۱۰۶	هوش مصنوعی و یادگیری ماشین
دوم	۷/۳۱۲	۱/۸۵	۱۵/۲۹	۰/۱۳۲	اینترنت اشیاء
دهم	۲/۹۰۲	۱/۴۰	۴/۸۱	۰/۰۷۶	تجزیه و تحلیل کلان داده-ها
پنجم	۴/۲۲۸	۱/۶۰	۷/۷۷	۰/۰۹۷	واقعیت مجازی
چهارم	۵/۶۷۴	۱/۷۵	۱۱/۱۹	۰/۱۱۶	واقعیت افزوده
اول	۷/۷۹۶	۱/۹۳	۱۶/۳۹	۰/۱۳۹	محاسبات ابری
هشتم	۳/۲۱۹	۱/۵۸۰	۵/۲۶	۰/۰۸۹	بلاک چین
نهم	۳/۰۸۱	۱/۵۸۲	۴/۹۱	۰/۰۸۸	چاپ سه بعدی
ششم	۳/۷۲۵	۱/۶۳	۶/۴۳	۰/۰۹۶	سیستم سایبر- فیزیکی
هفتم	۳/۳۴۸	۱/۶۱	۵/۵۳	۰/۰۹۲	فناوری واقعیت ترکیبی

در شکل ۴، رتبه بندی فناوری های صنعت ۴.۰ اثرگذار بر کیفیت آموزش نشان داده شده است.

شکل ۴. رتبه بندی نهایی فناوری های صنعت ۴.۰ اثرگذار بر کیفیت آموزش



و شکوفایی جوامع ایفا می کند. امروزه آموزش کشور با چالش ها و مشکلات مختلفی از

جمله کاهش انگیزه یادگیری دانشجویان و دانش‌آموزان، کیفیت نامناسب آموزش مطالب درسی، عدم تناسب محتوا و روش‌های آموزشی با نیاز جامعه و ایجاد فاصله دانش‌آموختگان با نیازهای واقعی جامعه و... مواجه است. این مشکلات پیامدهای نامطلوبی همچون کاهش نیروی کارآمد، کاهش بهره‌وری، افزایش نرخ بیکاری و کاهش رشد اقتصادی را به همراه دارد. در دهه گذشته با توسعه فناوری اطلاعات و ارتباطات و معرفی فناوری‌های صنعت ۴.۰ از جمله اینترنت اشیاء، محاسبات ابری و مزایای حاصل از آن‌ها همچون فراهم کردن امکان یادگیری عملی، شناسایی نیازهای آموزشی دانشجویان و دانش‌آموزان و توسعه همکاری و به اشتراک‌گذاری اطلاعات می‌توان بسیاری از چالش‌های موجود در حوزه آموزش را برطرف نموده و کیفیت آموزش را ارتقاء بخشید. علی‌رغم تأثیر بسیاری از فناوری‌های صنعت ۴.۰ بر کیفیت آموزش، امکان بکارگیری تمامی آن‌ها به دلایلی از جمله محدودیت منابع مالی، سازگاری با سیستم‌های موجود و پیچیدگی در آموزش تمامی فناوری‌ها، در یک بازه زمانی کوتاه مدت به صورت همزمان وجود ندارد. به عبارتی دیگر بکارگیری فناوری‌های صنعت ۴.۰ باید به صورت تدریجی و بر اساس اولویت‌بندی انجام شود. هدف از انجام این پژوهش شناسایی و اولویت‌بندی فناوری‌های صنعت ۴.۰ اثرگذار بر کیفیت آموزش است. ابتدا با مرور ادبیات و پیشینه پژوهش، ۸ معیار مقرون به صرفه بودن، تناسب با نیازهای آموزشی، سهولت استفاده و یادگیری، سازگاری، امنیت، تعهد به کیفیت، تناسب با فرهنگ سازمانی، پایداری و قابلیت ارتقاء به عنوان معیارهای مرتبط با انتخاب فناوری‌های صنعت ۴.۰ در جهت بهبود کیفیت آموزش شناسایی شدند. در ادامه با استفاده از نظرخواهی از خبرگان منتخب، هشت معیار شناسایی شده براساس رویکرد دلفی فازی مورد تأیید قرار گرفتند. علاوه بر این با توجه به خواست نویسندگان در مورد اضافه کردن معیاری به معیارهای شناسایی شده در صورت لزوم، دو معیار مصرف انرژی و انتشار کربن و انطباق با ملاحظات اخلاقی و قانونی به هشت معیار شناسایی شده اضافه و در دور دوم رویکرد دلفی فازی مورد تأیید قرار گرفتند. در ادامه با استفاده از رویکرد سوارا فازی میزان اهمیت ده معیار شناسایی شده، تعیین گردید. نتایج پژوهش نشان داد که معیار مقرون به صرفه بودن از بیشترین میزان اهمیت در میان ده معیار شناسایی شده مرتبط با انتخاب فناوری‌های صنعت

۴۰۰ برخوردار است. با توجه به هزینه های بسیار بالا در رابطه با استقرار، بکارگیری، نصب و نگهداری فناوری های صنعت ۴۰۰، تأمین منابع مالی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. لی (۲۰۲۰) در پژوهش خود تأمین منابع مالی را به عنوان مهمترین عامل استقرار فناوری های صنعت ۴۰۰ شناسایی کرده اند (Li, 2020). او در پژوهش خود بیان کرد که هزینه های نگهداری و به روزرسانی فناوری های صنعت ۴۰۰ بسیار بالا بوده و در صورت عدم اختصاص بودجه مناسب، پروژه استقرار صنعت ۴۰۰ با شکست مواجه خواهد شد. علاوه بر این دو معیار تناسب با نیازهای آموزشی و سهولت استفاده و یادگیری نیز به عنوان دو عامل با میزان اهمیت بالا شناسایی شدند. با توجه به قابلیت ها و کارکردهای متنوع و مختلف هر یک از فناوری های صنعت ۴۰۰ و وجود چالش ها و مشکلات مختلف در کیفیت آموزش، تناسب با نیازهای آموزشی موجود از جمله دسترسی به منابع آموزشی، غنی سازی محتوای آموزشی، افزایش تعامل دانشجویان و دانش آموزان و کاهش نابرابری اجتماعی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. همچنین سهولت استفاده و یادگیری نیز به عنوان سومین معیار با میزان اهمیت بالا مشخص شد. به دلیل پیچیدگی در استفاده از فناوری های صنعت ۴۰۰، سهولت استفاده و یادگیری آن ها نقش ویژه ای در اثربخشی و کارایی فناوری های صنعت ۴۰۰ دارد که این یافته پژوهش با نتایج بدست آمده از مطالعه جین و جین (۲۰۲۲) همسو است (Jain & Jain, 2022). آن ها در پژوهش خود سهولت یادگیری فناوری های صنعت ۴۰۰ را عامل تعیین کننده ای در موفقیت استفاده از این فناوری ها دانسته اند. در نهایت و براساس رویکرد کوکوسو فازی فناوری های صنعت ۴۰۰ اثرگذار بر کیفیت آموزش با توجه به وزن دهی معیارهای شناسایی شده، اولویت بندی شدند. نتایج حاصل از این بخش نشان داد که فناوری محاسبات ابری در رتبه اول قرار دارد. به عبارتی دیگر با توجه به معیارهایی از جمله مقرون به صرفه بودن، تناسب با نیازهای آموزشی و سایر معیارهای شناسایی شده، فناوری محاسبات ابری می تواند به عنوان اولین فناوری صنعت ۴۰۰ در بخش آموزش مورد استفاده قرار بگیرد. فناوری محاسبات ابری با فراهم کردن دسترسی آسان و سریع به منابع محاسباتی و ذخیره سازی مبتنی بر ابر، امکان دسترسی گسترده به محتوای آموزشی، ابزارهای آموزشی و فرصت های یادگیری را برای دانش آموزان و معلمان فراهم می آورد. تاوی و همکاران

(۲۰۲۴) در مطالعه خود اشاره کردند که با استفاده از محاسبات ابری، معلمان و اساتید دانشگاهی به راحتی به محتوای آموزشی، برنامه‌ها و ابزارهای آموزشی متنوع دسترسی داشته و آن‌ها را در فرآیند تدریس خود به کار می‌گیرند. همچنین دانش‌آموزان و دانشجویان می‌توانند در هر مکانی به محتوای آموزشی دسترسی پیدا کرده و در فرآیند یادگیری مشارکت داشته باشند (Thavi et al., 2024). این امر باعث افزایش دسترسی به آموزش و تسهیل در یادگیری شده و می‌تواند به چالش‌های موجود در حوزه کیفیت آموزش از جمله نابرابری اجتماعی، عدم همکاری دانشجویان و دانش‌آموزان با یکدیگر و بازخورد مناسب نسبت به محتواهای به اشتراک گذاشته پاسخ دهد. فناوری اینترنت اشیاء به عنوان دومین فناوری صنعت ۴.۰ در راستای بهبود کیفیت آموزش شناخته شد. این فناوری با امکان اتصال و تبادل اطلاعات میان انواع دستگاه‌های الکترونیکی و سنسورها، محیط‌های آموزشی را به طور چشمگیری متحول کرده است. در محیط‌های آموزشی مجهز به اینترنت اشیاء، معلمان و اساتید دانشگاهی از ابزارهای هوشمند برای پایش و تحلیل عملکرد دانش‌آموزان، ارائه بازخوردهای سریع و تطبیق محتوا و روش‌های آموزشی با نیازها و سطح فهم دانش‌آموزان استفاده می‌کنند. این امر باعث افزایش درگیری و انگیزش دانش‌آموزان در فرآیند یادگیری شده و بازدهی و کیفیت آموزش را ارتقاء می‌بخشد. آلدواه و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که اینترنت اشیاء باعث می‌شود تا آموزش به صورت واقعی‌تر، شخصی‌سازی‌شده‌تر و متناسب‌تر با نیازهای فردی دانش‌آموزان ارائه شود (Aldowah et al., 2017). به عبارتی دیگر با استفاده از اینترنت اشیاء مشکلاتی از جمله کاهش انگیزه دانشجویان و عدم شناسایی نیازهای آموزشی آن‌ها رفع خواهد شد. سومین فناوری صنعت ۴.۰ اثرگذار بر کیفیت آموزش بر اساس رویکرد کوکوسو فازی، هوش مصنوعی و یادگیری ماشین است. این فناوری امکان تحلیل و پیش‌بینی الگوهای یادگیری دانش‌آموزان و دانشجویان را فراهم می‌کند. با استفاده از این فناوری‌ها، سیستم‌های آموزشی هوشمند می‌توانند عملکرد و نیازهای فردی دانش‌آموزان را مورد ارزیابی قرار داده و آموزش را به صورت شخصی‌سازی‌شده و هدفمند ارائه کنند. کوئلتو و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند که با تحلیل داده‌های یادگیری دانش‌آموزان، این هوش مصنوعی و یادگیری ماشین می‌تواند نقاط قوت و ضعف آن‌ها را

شناسایی کرده و متناسب با آن، محتوا و روش های آموزشی را تنظیم کنند. این امر باعث افزایش مشارکت، انگیزش و در نتیجه بهبود کیفیت یادگیری می شود (Kuleto et al., 2021). براساس نتایج بدست آمده در پژوهش حاضر، پیشنهاد می شود. که مسئولان و تصمیم گیرندگان در کوتاه ترین زمان ممکن زمینه استقرار و بکارگیری سه فناوری صنعت ۴.۰ شامل محاسبات ابری، اینترنت اشیاء و هوش مصنوعی و یادگیری ماشین را به منظور بهبود کیفیت آموزش و پاسخگویی به چالش های آموزشی موجود فراهم نمایند. علاوه بر این پیشنهاد می شود در تحقیقات آتی موانع موجود برای پیاده سازی فناوری های صنعت ۴.۰ در نظام آموزشی مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

- بامری، مصیب، سلیمی، قاسم، مرزوقی، رحمت‌اله، صفوی، سیدعلی اکبر و محمدی، مهدی. (۱۴۰۱). شایستگی‌های دانشجویان مهندسی و الزامات دانشگاه‌ها و مراکز آموزش عالی برای انطباق با صنعت ۴.۰: مطالعه‌ای مبتنی بر روش فراترکیب. آموزش مهندسی در ایران، ۲۴ (۹۶)، ۳۰-۱. <https://doi.org/10.22047/ijee.2022.352365.1930>
- حیدری، زهرا، طالب، زهرا و گلزاری، زینب (۱۴۰۲). فراترکیب کاربردهای اینترنت اشیاء و هوش مصنوعی در محیط‌های آموزشی هوشمند. فناوری‌های آموزشی در یادگیری، ۶ (۲۰)، ۱۳۴-۱۶۵. <https://doi.org/10.22054/jti.2023.75649.1397>
- سالاری‌چینه، پروین و قانع ملاطی، مژگان. (۱۴۰۳). طراحی محیط یادگیری مبتنی بر رویکرد تلفیقی با تأکید بر حوزه‌های آموزش و یادگیری. فناوری‌های آموزشی در یادگیری، ۷ (۲۳)، ۶۷-۱۰۷. <https://doi.org/10.22054/jti.2024.79502.1462>
- طلایی، حمیدرضا، ضیائیان، مهران و مالکی‌نژاد، پوریا (۱۴۰۱). طراحی مدل استقرار و پیاده‌سازی کیفیت ۴.۰ با رویکرد تلفیقی مدل‌سازی ساختاری تفسیری و مدل‌سازی معادلات ساختاری. مهندسی و مدیریت کیفیت، ۱ (۱۲)، ۵۲-۶۸. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23221305.1401.12.1.4.4>

References

- Ahmad, M. S., Fei, W., Shoaib, M., & Ali, H. (2024). Identification of Key Drivers for Performance Measurement in Sustainable Humanitarian Relief Logistics: An Integrated Fuzzy Delphi-DEMATEL Approach. *SUSTAINABILITY*, 16(11), 4412. <https://doi.org/10.3390/su16114412>
- Al-Ansi, A. M., Jaboob, M., Garad, A., & Al-Ansi, A. (2023). Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education. *Social Sciences & Humanities Open*, 8(1), 100532. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100532>
- Al-Malah, D. K. A.-R., Aljazaery, I. A., Alrikabi, H. T. S., & Mutar, H. A. (2021). *Cloud computing and its impact on online education*. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.

- Aldowah, H., Rehman, S. U., Ghazal, S., & Umar, I. N. (2017). *Internet of Things in higher education: a study on future learning*. Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series.
- AlMalki, H. A., & Durugbo, C. M. (2023). Evaluating critical institutional factors of Industry 4.0 for education reform. *Technological Forecasting and Social Change*, 188, 122327. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122327>.
- Assante, D., Cennamo, G. M., & Placidi, L. (2020). *3D printing in Education: an European perspective*. Paper presented at the 2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON).
- Ayeni, O. O., Al Hamad, N. M., Chisom, O. N., Osawaru, B., & Adewusi, O. E. (2024). AI in education: A review of personalized learning and educational technology. *GSC Advanced Research and Reviews*, 18(2), 261-271 .
- Bahrami, M. R., Hashemzadeh, G. R., Shahmansouri, A., & Fathi Hefeshjani, K. (2023). Analyzing Effective Components in Industry 4.0 Readiness Assessments. *Journal of Industrial Management Perspective*, 13(2), 267-297 . <https://doi.org/10.48308/jimp.13.2.267>
- Bameri, M., Salimi, G., Marzooghi, R., Safavi, S., & Mohammadi, M. (2023). Competencies of engineering students and equirements of universities and higher education centers to adapt to Industry 4.0: A study based on the meta-synthesis. *Majallah-i Amuzih-i Muhandisi-i Iran*, 24(96), 1-1 . (In persian). <https://doi.org/10.22047/ijee.2022.352365.1930>
- Bendak, S., Shikhli, A. M., & Abdel-Razek, R. H. (2020). How changing organizational culture can enhance innovation: Development of the innovative culture enhancement framework. *Cogent Business & Management*, 7(1), 1712125 .
- Birt, J., Stromberga, Z., Cowling, M., & Moro, C. (2018). Mobile mixed reality for experiential learning and simulation in medical and health sciences education. *INFORMATION*, 9(2), 31 .<https://doi.org/10.3390/info9020031>
- Bucea-Manea-Țoniș, R., Martins, O. M., Bucea-Manea-Țoniș, R., Gheorghită, C., Kuleto, V., Ilić, M. P., & Simion, V.-E. (2021). Blockchain technology enhances sustainable higher education. *Sustainability*, 13(22), 12347 . <https://doi.org/10.3390/su132212347>
- Budiharso, T & ,Tarman, B. (2020). Improving quality education through better working conditions of academic institutes. *Journal of Ethnic and Cultural Studies*, 7(1), 99-115 .

- Bui, T. D., Tsai, F. M., Tseng, M.-L., & Ali, M. H. (2020). Identifying sustainable solid waste management barriers in practice using the fuzzy Delphi method. *Resources, Conservation and Recycling*, 154, 104625. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104625>
- Das, R., & Shaw, K. (2017). Uncertain supply chain network design considering carbon footprint and social factors using two-stage approach. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19, 2491-2519.
- Demir, G., Damjanović, M., Matović, B., & Vujadinović, R. (2022). Toward sustainable urban mobility by using fuzzy-FUCOM and fuzzy-CoCoSo methods: the case of the SUMP podgorica. *SUSTAINABILITY*, 14(9), 4972. <https://doi.org/10.3390/su14094972>
- Demir, G., Riaz, M., & Deveci, M. (2024). Wind farm site selection using geographic information system and fuzzy decision making model. *Expert Systems with Applications*, 255, 124772. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124772>
- Dollinger, M., & Hanna, L. (2023). Students with disabilities mentoring staff: Supporting scalable academic development for inclusive education. *International Journal for Academic Development*, 1-13. <https://doi.org/10.1080/1360144X.2023.2262968>
- Familoni, B. T., & Onyebuchi, N. C. (2024). Augmented and virtual reality in us education: a review: analyzing the impact, effectiveness, and future prospects of ar/vr tools in enhancing learning experiences. *International Journal of Applied Research in Social Sciences*, 6(4), 642-663.
- Foster, S. T., & Gardner, J. W. (2022). *Managing quality: Integrating the supply chain*: John Wiley & Sons.
- Fu, X. (2022). *Application of "Big Data+ Education" in the Construction of Curriculum Content System*. Paper presented at the 2021 International Conference on Big Data Analytics for Cyber-Physical System in Smart City: Volume 1.
- Hansen, A. K., Langdon, T. R., Mendrin, L. W., Peters, K., Ramos, J., & Lent, D. D. (2020). Exploring the Potential of 3D-printing in Biological Education: A Review of the Literature. *Integrative and Comparative Biology*. 896-905. 4(6).
- Heydari, Zahra, Taleb, Zahra and Golzari, Zeinab (2013). Meta-synthesis of Internet of Things and Artificial Intelligence Applications in Smart Educational Environments. *Educational Technologies in Learning*, (20) 6, 134-165. (In Persian). <https://doi.org/10.22054/jti.2023.75649.1397>

- Iftekar, S. F., Aabid, A., Amir, A., & Baig, M. (2023). Advancements and limitations in 3D printing materials and technologies: a critical review. *Polymers*, 15(11), 2519. <https://doi.org/10.3390/polym15112519>
- Ilić, M. P., Păun, D., Popović Šević, N., Hadžić, A., & Jianu, A. (2021). Needs and performance analysis for changes in higher education and implementation of artificial intelligence, machine learning, and extended reality. *Education Sciences*, 11(10), 568. <https://doi.org/10.3390/educsci11100568>
- Jain, V., & Jain, P. (2022). From Industry 4.0 to Education 4.0: acceptance and use of videoconferencing applications in higher education of Oman. *Journal of Applied Research in Higher Education*, 14(3), 1079-1098. <https://doi.org/10.1108/JARHE-10-2020-0378>
- Kassab, M., DeFranco, J., & Laplante, P. (2020). A systematic literature review on Internet of things in education: Benefits and challenges. *Journal of computer Assisted learning*, 36(2), 115-127. <https://doi.org/10.1111/jcal.12383>
- Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *JOURNAL OF BUSINESS ECONOMICS AND MANAGEMENT*, 11(2), 243-258.
- Komalasari, K., Arafat, Y., & Mulyadi, M. (2020). Principal's management competencies in improving the quality of education. *Journal of social work and Science Education*, 1(2), 181-193.
- Koumpouros, Y. (2024). Revealing the true potential and prospects of augmented reality in education. *Smart Learning Environments*, 11(1), <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00288-0>
- Kuleto, V., Ilić, M., Dumangiu, M., Ranković, M., Martins, O. M., Păun, D., & Mihoreanu, L. (2021). Exploring opportunities and challenges of artificial intelligence and machine learning in higher education institutions. *SUSTAINABILITY*, 13(18), 10424. <https://doi.org/10.3390/su131810424>
- Lacka, E., Wong, T., & Haddoud, M. Y. (2021). Can digital technologies improve students' efficiency? Exploring the role of Virtual Learning Environment and Social Media use in Higher Education. *Computers & Education*, 163, 104099. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.104099>
- Li, L. (2020). Education supply chain in the era of Industry 4.0. *Systems Research and Behavioral Science*, 37(4), 579-592. <https://doi.org/10.1002/sres.2702>

- Liu, J. (2024). Teaching Quality Analysis of Health Management Professionals in Colleges and Universities Based on Big Data Decision Tree Algorithm. *Journal of Electrical Systems*, 20(7s), 1024-1031 .
- Lukita, C., Suwandi, S., Harahap, E. P., Rahardja, U., & Nas, C. (2020). Curriculum 4.0: adoption of industry era 4.0 as assessment of higher education quality. *IJCCS (Indonesian Journal of Computing and Cybernetics Systems)*, 14(3), 297-308 .
- Marienko, M., Nosenko, Y., Sukhikh, A., Tataurov, V., & Shyshkina, M. (2020). Personalization of learning through adaptive technologies in the context of sustainable development of teachers' education. *arXiv preprint arXiv:2006.05810* .<https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.05810>
- Marks, B., & Thomas, J. (2022). Adoption of virtual reality technology in higher education: An evaluation of five teaching semesters in a purpose-designed laboratory. *Education and information technologies*, 27(1), 287-305. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10653-6>
- Mian, S. H., Salah, B., Ameen, W., Moiduddin, K., & Alkhalefah, H. (2020). Adapting universities for sustainability education in industry 4.0: Channel of challenges and opportunities. *Sustainability*, 12(15), 6100 . <https://doi.org/10.3390/su12156100>
- Moraes, E. B., Kipper, L. M., Hackenhaar Kellermann, A. C., Austria, L., Leivas, P., Moraes, J. A. R., & Witczak, M. (2023). Integration of Industry 4.0 technologies with Education 4.0: advantages for improvements in learning. *Interactive Technology and Smart Education*, 20(2), 271-287. <https://doi.org/10.1108/ITSE-11-2021-0201> .
- Morovati Sharifabadi, A., Ziaecian, M., Mirfakhradini, S. H., & Zanjirchi, S. M. (2024). Toward Industry 4.0 in home appliance industry: challenges and future perspectives. *Journal of Advances in Management Research*. <https://doi.org/10.1108/JAMR-03-2023-0070>
- Mourtzis, D., Vlachou, E., Dimitrakopoulos, G., & Zogopoulos, V. (2018). Cyber-physical systems and education 4.0—the teaching factory 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 23, 129-134 . <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.005>
- Naveed, R. T., Alhaidan, H., Al Halbusi, H., & Al-Swidi, A. K. (2022). Do organizations really evolve? The critical link between organizational culture and organizational innovation toward organizational effectiveness: Pivotal role of organizational resistance. *Journal of Innovation & Knowledge*, 7(2), 100178 .<https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100178>

- Pervez, S., ur Rehman, S., & Alandjani, G. (2018). Role of internet of things (iot) in higher education. *Proceedings of ADVED*, 792-800 .
- Petrudi, S. H. H., Ghomi, H., & Mazaheriasad, M. (2022). An Integrated Fuzzy Delphi and Best Worst Method (BWM) for performance measurement in higher education. *Decision Analytics Journal*, 4, 100121 .
<https://doi.org/10.1016/j.dajour.2022.100121>
- Porto, A. E. (2020). Adopting e-learning technologies in higher educational institutions: The role of organizational culture, technology acceptance and attitude. *Review of Social Sciences*, 5(1), 01-11 .
<https://doi.org/10.18533/rss.v5i1.143>
- Qureshi, M. I., Khan, N., Raza, H., Imran, A., & Ismail, F. (2021). Digital technologies in education 4.0. Does it enhance the effectiveness of learning ?
- Rahmatullah, A. S., Mulyasa, E., Syahrani, S., Pongpalilu, F., & Putri, R. E. (۲۰۲۲) . Digital era 4.0: The contribution to education and student psychology. *Linguistics and Culture Review*, 6(S3), 89-107 .
<https://doi.org/10.21744/lingcure.v6nS3.2064>
- Russo-Netzer, P. (2023). Recalibrating the compass in a changing world: Education for meaning and meaningful education. *Journal of Constructivist Psychology*, 36(2), 168-184 .
- Salarichineh, Parvin and Ghane Malati, Mojgan. (2024). Designing a learning environment based on an integrated approach with an emphasis on teaching and learning areas. *Educational Technologies in Learning*, (23)7, 67-107. (In Persian). <https://doi.org/10.22054/jti.2024.79502.1462>
- Saleem, I., Shamsi, M. A., & Magd, H. (2023). Impact assessment of ease and usefulness of online teaching in higher education in post Covid era. *International Journal of Information and Education Technology*, 102-113. 1(13). doi: 10.18178/ijiet.2023.13.1.1785
- Sengupta, M., Datta, S., Roy, A., Chakrabarti, S., & Mukhopadhyay, I. (2024). 19 Digital Inclusion, Perceived Usefulness, and Perceived Ease of Use in Online Learning. *Perspectives in Finance and Digital Transformations in Business*, 194 .
- Sharma, P. (2019). Digital revolution of education 4.0. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(2), 3558-3564 .
- Sunarsi, D., Rohaeni, N., Wulansari, R., Andriani, J., Muslimat, A., Rialmi, Z., . . . Effendy, A. A. (2020). Effect of e-leadership style, organizational

commitment and service quality towards indonesian school performance. *Syst. Rev. Pharm*, 11(10), 472-481 .

- Talaie, H., Ziaecian, M., & Malekinejad, P. (2022). Designing the establishment and implementation model of quality 4.0 with the integrated approach of interpretive structural modeling and structural equation modeling. *Journal of Quality Engineering and Management*, 12(1), 51-68. (In persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23221305.1401.12.1.4.4>
- Thavi, R., Jhaveri, R., Narwane, V., Gardas, B., & Jafari Navimipour, N. (2024). Role of cloud computing technology in the education sector. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 22(1), 182-213 . <https://doi.org/10.1108/JEDT-08-2021-0417>
- Tomy, S., & Pardede, E. (2020). An entrepreneurial intention model focussing on higher education. *International journal of entrepreneurial behavior & research*, 2, (7) 6.1423-1447 .. <https://doi.org/10.1108/IJEBr-06-2019-0370>
- Venelinova, N., Ivanova, B., Shoylekova, K., & Rusev, R. (2024). *Practical Aspects of Integrating Virtual and Augmented Reality Technologies in Higher Education*. Paper presented at the 2024 47th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO.)
- Veshneva, I., Bolshakov, A. A., & Fedorova, A. (2020). Organization of engineering education for the development of cyber-physical systems based on the assessment of competences using status functions. *Cyber-Physical Systems: Industry 4.0 Challenges* ,277-288 .
- Wang, Q., & Li, Y. (2024). How virtual reality, augmented reality and mixed reality facilitate teacher education: A systematic review. *Journal of Computer Assisted Learning* .<https://doi.org/10.1111/jcal.12949>
- Wang, Y.-Y., Wang, Y.-S., & Lin, T.-C. (2018). Developing and validating a technology upgrade model. *International Journal of Information Management*, 38(1), 7-26 .<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.07.003>
- Wawak, S., Teixeira Domingues, J. P., & Sampaio, P. (2024). Quality 4.0 in higher education: reinventing academic-industry-government collaboration during disruptive times. *The TQM Journal*, 36(6), 1569-1590 . <https://doi.org/10.1108/TQM-07-2023-0219>
- Widayanti, R., Harahap, E. P., Lutfiani, N., Oganda, F. P., & Manik, I. S. P. (2021). The impact of blockchain technology in higher education quality improvement. *J. Ilm. Tek. Elektro Komput. Dan Inform*, 7 ,207-216 . <https://dx.doi.org/10.26555/jiteki.v7i2.20684>

Zhukova, O., Mandragelya, V., Aliksieienko, T., Semenenko, A., & Skibina, E. (2023). Digital technologies for introducing gamification into the education system in the context of the development of industry 4.0. *Ingénierie des Systèmes d'Information*, 1(28), 141-147.